

REDUÇÃO DE PERDAS REAIS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Definição de critérios para delimitação de zonas de
medição e controlo

HUGO RICARDO FONTES CARVALHO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins

Coorientador: Engenheiro José António Soares Martins

JULHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais e irmã

A obra vale mais do que a fórmula
François Carco

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação, fruto de um trabalho intenso, não teria sido possível sem a contribuição preciosa de muitos, aos quais desde já quero agradecer.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), ao professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins e ao Engenheiro Silva Martins por me terem dado a oportunidade de desenvolver esta dissertação em ambiente empresarial, na Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA. Pelo apoio, motivação, partilha do seu saber e, acima de tudo, pela orientação da dissertação, ao professor devo um sincero obrigado.

Aos meus pais Mavilde Fontes e Francisco Carvalho, pela motivação dada ao longo deste trabalho e por terem sido os pilares da minha formação académica e pessoal.

À minha irmã Anabela Carvalho, pelo orgulho demonstrado, encorajamento e apoio incondicional.

A toda a família, pelo apoio e que de uma forma ou de outra me ajudaram a ultrapassar algumas das adversidades.

Ao Engenheiro José António Martins, diretor da direção de abastecimento de água, pelo acompanhamento, preocupação e autorização da utilização das várias informações adquiridas.

Ao Engenheiro Pires de Lima, pelo acompanhamento ao longo de todo o tempo na empresa, esclarecimento de dúvidas e transmissão de conhecimentos relevantes, tanto a nível pessoal como profissional.

Ao Doutor José Cláudio pela disponibilidade, partilha de informação e transmissão de conhecimentos informáticos.

Ao Engenheiro Jorge Fernandes, meu companheiro na empresa, pela entreaajuda nos momentos mais complicados e pela amizade demonstrada, sendo crucial na superação das dificuldades encontradas.

Aos técnicos João Gomes, Jorge Silva, Paulo Oliveira e Pedro Remelgado, pela ajuda fundamental na integração da empresa, pelo bom ambiente proporcionado e apoio prestado.

Ao Antony Ferreira, ao Christopher Ribeiro, à Daniela Silva, à Nelly Prazeres e ao Ricardo Silva pelo incentivo, ajuda, mas principalmente pela amizade partilhada ao longo do percurso universitário.

A todos os amigos e colegas da FEUP, pela amizade demonstrada ao longo de todos estes anos.

Por fim, a todos aqueles que não se encontram aqui contemplados, mas que não serão esquecidos.

RESUMO

A presente dissertação tem como principal objetivo a definição de critérios para delimitação de zonas de medição e controle (ZMC) com vista à redução de perdas reais de água em sistemas de abastecimento de água (SAA).

A redução de perdas reais de água em SAA, até níveis aceitáveis, constitui um dos principais objetivos das Entidades Gestoras (EG) responsáveis pelo serviço público de abastecimento de água. Neste contexto, a implementação de ZMC é um dos pontos de partida para que se atinja o objetivo. A subdivisão da rede em zonas discretas com limites rigorosamente identificados, cujas entradas são devidamente controladas para se obterem os consumos, não permite um controle direto das perdas, mas facilita a deteção, caracterização e distribuição espacial das mesmas. O estudo do caudal mínimo noturno (CMN), depois da setorização, também permite constatar a existência ou não de fugas ou usos indevidos de água, pois durante este período praticamente nenhum consumidor se encontra no ativo. Com isto é possível estabelecer estratégias de controle de perdas, definir prioridades de intervenção na rede e até gerir as pressões na rede em função dos consumos diários. Para a delimitação de ZMC seguiram-se os critérios previamente definidos, como a densidade de ramais, a extensão da rede, a topografia do local, o estado de conservação das infraestruturas, e os diferentes usos.

Com a planta onde se apresentam as condutas e acessórios da zona em estudo delimita-se a fronteira geral das ZMC. Seguindo os critérios estabelecidos, definem-se as ZMC. A validação e implementação das ZMC, através da verificação da pressão no interior e exterior destas, por exemplo, não é possível devido à escassez de tempo, uma vez que exige a medição desta já depois de implementadas. Na fronteira da ZMC, há pontos que estabelecem ligação com outros que são abastecidos por diferentes reservatórios, não sendo permitida a passagem de caudal entre eles devido à existência de válvulas de corte. Ainda assim, exige-se a verificação do bom funcionamento destes acessórios uma vez que caso isto não se verifique todo o trabalho realizado poderá ser posto em causa.

Posteriormente são demonstrados os benefícios resultantes das ZMC na identificação de perdas de água reais, analisando sobretudo o CMN, estando este relacionado com o período de menor consumo, ou quase nulo, quando praticamente todo o caudal medido é sinónimo de perdas de água.

Depois de realizado este estudo, comprova-se a relevância das ZMC no controle ativo de perdas de água reais no SAA, logo na eficiência do SAA e na satisfação dos consumidores ao nível da qualidade do serviço prestado e das tarifas praticadas pelas EG. As ZMC são assim o ponto de partida para uma gestão do SAA e consequente melhoria do setor de abastecimento.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de abastecimento de água, redução de perdas de água reais, critérios para delimitação, zonas de medição e controle (ZMC), caudal mínimo noturno.

ABSTRACT

The present dissertation has as main objective the definition of criteria for measurement and control areas delimitation to reduce of the real losses of water in water supply systems.

The reduction of real water losses, until acceptable values, represents one of the most important goals of the entities management responsible for the public service of water supplies. In this context, implementation of ZMC is one of the starting points to reach the objective. The subdivision of the network in discrete areas with boundaries severely identified, which entries are dully controlled in order to obtain the consumption, doesn't allow a direct control over the real losses, but it eases the detection, characterization and distribution of them. The study of the minimal nocturnal flow rate (CMN), after the division is sectors, also allow to evidence the existence or not of break-outs or inappropriate usage of water because during this period practically no consumer is in active. With this, it is possible to establish strategies of loss control, define interventions priorities in the network and even manage the pressures in the network in function of the daily consumptions. For the delimitation of the ZMC, criteria previously defined were followed like the density of the branch lines, the topography of the area, the state of conservation of the infrastructures, the network extension, and the different uses.

With the map where the conducts and accessories of the zone of study are presented, the delimitation of the general boundaries is made. Following the established criteria, the ZMC are defined. The validation and implementation of the ZMC, through the verification of the interior and exterior pressures, for example, isn't possible due to the time scarcity, since that it demands the measurement of the pressure after the ZMC is created. On the boundaries of the ZMC, there are points that establish connections with others that are stocked by different reservoirs, not being allowed flow rate between them due to existing shut-off valves. Even so, it is demanded the verification of the good function of these accessories so that all the work in this study isn't questioned.

Furthermore, the advantages of the creation of the ZMC's in the identification of the real water losses are showed, analyzing the CMN (mostly), being related with the period of less water consumption, or almost null, when almost all the flow rate measured is a synonym of water loss.

After this study is conducted, it is proven the relevance of ZMC in the active control of the real water losses in the SAA, meaning that the efficiency of the SAA, and in the satisfaction of the consumers regarding the quality of the service provided, and the rates used by the EG. Because of all of this, the ZMC are the starting point for a management of the SAA, and the consequent improvement of the supply sector.

KEYWORDS: water supply system, reduction of real water losses, criteria for measurement, measurement and control areas (ZMC), minimal nocturnal flow.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
 2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	 3
2.1. CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	3
2.1.1. INTRODUÇÃO	3
2.1.2. COMPONENTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO	3
2.1.2.1. Captação	4
2.1.2.2. Armazenamento	6
2.1.2.3. Rede de distribuição	8
2.2. ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL	16
2.2.1. LEGISLAÇÃO	18
2.2.2. PEAASAR II	19
2.2.3. MODELOS DE GESTÃO E ENTIDADE GESTORA	21
2.2.4. PROBLEMAS DO SETOR	25
2.2.4.1. Ausência de dimensão e de escala	25
2.2.4.2. Disparidade tarifária Litoral/Interior	26
2.2.4.3. Ausência de recuperação integral de custos pelas tarifas	26
2.2.4.4. Ineficiências e perdas na operação do sistema	27
2.2.4.5. Incumprimento da legislação ambiental	27
2.3. PERDAS DE ÁGUA	27
2.3.1. INTRODUÇÃO	27
2.3.2. DEFINIÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA	29
2.3.2.1. Perdas aparentes e Fatores que as influenciam	30
2.3.2.2. Perdas reais e fatores que as influenciam	32
2.4. SISTEMA DE TELEGESTÃO	37
2.5. DIMENSÕES DO PROBLEMA	38

2.5.1. DIMENSÃO ECONÓMICO-FINANCEIRA	38
2.5.2. DIMENSÃO TÉCNICA.....	39
2.5.3.DIMENSÃO AMBIENTAL.....	39
2.5.4. DIMENSÃO DE SAÚDE PÚBLICA	39
2.5.5. DIMENSÃO SOCIAL.....	40
2.5.6. OUTROS EFEITOS DAS PERDAS DE ÁGUA.....	40
2.6. BALANÇO HÍDRICO	40
2.7. INDICADORES DE DESEMPENHO	44
2.8. CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA	46
2.8.1. NÍVEL ECONÓMICO DE PERDAS.....	47
2.8.2. ZONAS DE MEDIÇÃO E CONTROLO	49
2.8.3. MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS.....	50
2.8.4. MODELAÇÃO HIDRÁULICA.....	53
2.8.5. GESTÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO ZONADA.....	55
2.8.6. GESTÃO DE PRESSÕES	58
2.8.6.1. Benefícios associados à gestão da pressão	59
2.8.6.2. Problemas potenciais	60
2.8.7. LOCALIZAÇÃO DE FUGAS.....	61
2.8.7.1. Subzonamento.....	61
2.8.7.2. Detecção exata de fugas	62
2.8.7.3. Equipamentos de deteção	63
2.9. CONCLUSÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	66
3. ÂMBITO E OBJETIVOS	67
3.1. ÂMBITO DA DISSERTAÇÃO	67
3.2. OBJETIVOS	67
4. CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA NA EMPRESA ÁGUAS E PARQUE BIOLÓGICO DE GAIA	69
4.1. ÁGUAS E PARQUE BIOLÓGICO DE GAIA, EM, SA.....	69
4.1.1. INTRODUÇÃO	69
4.1.2. REDE DE ABASTECIMENTO	72
4.2. DECOMPOSIÇÃO DA ANF	74

5. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DE ZMC	79
5.1. ANÁLISE DAS PERDAS DE R1 POR COMPARAÇÃO COM R2	79
5.2. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DE ZMC	84
5.2.1. FRONTEIRA DE ZMC	84
5.2.2. GARANTIA DA PRESSÃO NA REDE	85
5.2.3. DIMENSÃO DE ZMC	85
5.2.4. DENSIDADE DE RAMAIS.....	85
5.2.5. ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS CONDUTAS	85
5.2.6. USOS EXISTENTES	86
5.2.7. ALTIMETRIA	86
5.2.8. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE ZMC	86
5.3. ZMC RESERVATÓRIO R1	87
 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	99
6.1. CONCLUSÕES	99
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	100
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
OUTROS SÍTIOS DA INTERNET CONSULTADOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com os componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal (ALEGRE, <i>et al.</i> , 2006)	4
Fig. 2.2 – Classificação dos reservatórios quanto à sua implantação (http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html)	7
Fig. 2.3 – Reservatório R20 (OLIVEIRA, P.S., 2010).....	8
Fig. 2.4 – Rede ramificada	8
Fig. 2.5 – Rede emalhada	9
Fig. 2.6 – Linhas piezométricas dos consumos máximo e mínimo (ftp://ftp.unilins.edu.br/cursos/Saneamento Meio Ambiente T4/Aula 200310 Prof AdiltonSchiavon/p_s-unilins%20aula%2020-03-10%20projetos%20de%20redes%20de%20distribui_o%20de%20_gua.pdf)	10
Fig. 2.7 – Ligação entre o sistema público e os dispositivos de utilização (PEDROSO, V.M.R., 2007) ..	11
Fig. 2.8 – Alimentação direta com elemento sobrepessor (PEDROSO, V.M.R., 2007).....	12
Fig. 2.9 – Alimentação indireta com reservatório na base e elemento elevatório (PEDROSO, V.M.R., 2007)	12
Fig. 2.10 – Junta de montagem (SAINT-GOBAIN PAM, 2007).....	13
Fig. 2.11 – Tê (SAINT-GOBAIN, 2014)	13
Fig. 2.12 – Válvula de seccionamento (SAINT-GOBAIN PAM, 2007)	14
Fig. 2.13 – Válvula de descarga (MANKENBERG, 2014)	14
Fig. 2.14 – Válvula redutora de pressão (MANKENBERG, 2014).....	14
Fig. 2.15 – Válvula de retenção (SAINT-GOBAIN PAM, 2006)	15
Fig. 2.16 – Ventosa de 3 funções (SAINT-GOBAIN PAM, 2006)	15
Fig. 2.17 – Medidor de caudal eletromagnético (TECNILAB, 2014)	15
Fig. 2.18 – Marco de incêndio (SAINT-GOBAIN PAM, 2007)	16
Fig. 2.19 – Boca de rega (GODINHO, A., 2014)	16
Fig. 2.20 – Evolução da cobertura do serviço de abastecimento de água (INAG E INSAAR, 2010)	17
Fig. 2.21 – Evolução da água segura (INAG E INSAAR, 2010)	17
Fig. 2.22 – Objetivos dos modelos de gestão (ERSAR, 2011)	23
Fig. 2.23 – Evolução do número de EG em baixa (ERSAR, 2011)	24
Fig. 2.24 – Distribuição das entidades gestoras de serviço de abastecimento de água em baixa (ERSAR, 2011).....	25
Fig. 2.25 – Distribuição dos custos de serviço prestado (MAGALHÃES, M., 2012)	26
Fig. 2.26 – Desperdício de água (COTRIM, A., 2014)	28
Fig. 2.27 – Perdas de água	30

Fig. 2.28 – Curva de erros e limites do erro máximo admissível http://www.cgf.janz.pt/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=46	31
Fig. 2.29 – Perdas de água nas redes de distribuição. (DTA, 2004)	33
Fig. 2.30 – Estimativa do tempo e do volume de água perdido através de uma rotura facilmente detetável (FARLEY, et al., 2008)	34
Fig. 2.31 – Perda de água devido a rotura facilmente detetável http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2013/11/26/930633#imagen-1	34
Fig. 2.32 – Estimativa do tempo e do volume de água perdido através de uma rotura dificilmente detetável (FARLEY, et al., 2008)	35
Fig. 2.33 – Perda de água devido a rotura dificilmente detetável https://www.google.pt/?gws_rd=ssl#q=roturas+em+condutas	35
Fig. 2.34 – Estimativa do tempo e do volume de água perdido através de uma perda base (FARLEY, et al., 2008)	35
Fig. 2.35 – Tipos de perdas de água reais	36
Fig. 2.36 – Sistema de Telegestão (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	38
Fig. 2.37 – Roturas em condutas em Portugal, na Europa e na América do Norte (ALEGRE, et al, 2005)	39
Fig. 2.38 – Relação da água não faturada e da água faturada (MARTINS, J.P., 2014)	43
Fig. 2.39 – Nível económico de perdas (OLIVEIRA, P.S., 2014)	47
Fig. 2.40 – Nível económico de perdas reais (NEPr) (THORNTON, et al., 2008)	49
Fig. 2.41 – Métodos para gestão das perdas de água. (HAVLIK, 2006)	50
Fig. 2.42 – Modelo de uma rede de abastecimento de água no WaterGEMS (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	54
Fig. 2.43 – Modelo de uma rede de abastecimento de água no EPANET (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	55
Fig. 2.44 – Fases da gestão de um sistema de medição zonada (ALEGRE, et al., 2005)	56
Fig. 2.45 – Localização aproximada por subzonamento (ALEGRE, et al., 2005)	62
Fig. 2.46 – Correlacionador de ruídos (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	63
Fig. 2.47 – Loggers acústicos (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	64
Fig. 2.48 – Vareta eletrónica de escuta (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	65
Fig. 2.49 – Geofone (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	65
Fig. 4.1 – Organograma (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	71
Fig. 4.2 – Mapa da rede de distribuição (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	72
Fig. 5.1 – Sistema de medição zonada (ALEGRE, et al., 2005)	87
Fig. 5.2 – Limite exterior e condutas do R1	88
Fig. 5.3 – Curvas de nível da zona abastecida pelo R1	89
Fig. 5.4 – Área abrangida pela ZMC R1Z1 (GOOGLE EARTH)	90

Fig. 5.5 – Área abrangida pela ZMC R1Z2 (GOOGLE EARTH).....	91
Fig. 5.6 – ZMC R1Z1 e R1Z2	92
Fig. 5.7 – Edificações da zona abastecida pelo R1	93
Fig. 5.8 – ZMC R1Z3 e R1Z4	94
Fig. 5.9 – Pontos de localização dos medidores.....	95
Fig. 5.10 – Diâmetros das condutas do R1	96
Fig. 5.11 – Esquema simplificado da rede com os respetivos medidores	97
Fig. 5.12 – ZMC R1	98

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Características das águas captadas (FIGUEIREDO, M.P., 2012)	6
Quadro 2.2 – População com abastecimento de água em 1972 (MARTINS, J.P., 2012)	18
Quadro 2.3 – Modelos de gestão de serviços utilizados no setor (ERSAR, 2011).....	22
Quadro 2.4 – Balanço Hídrico	41
Quadro 2.5 – Componentes do CMN (WRc, 1994)	52
Quadro 2.6 – Expoente da lei de vazão de um orifício (FARLEY, <i>et al.</i> , 2008) (GREYVENSTEIN, <i>et al.</i> , 2005)	59
Quadro 4.1 – Rede de distribuição de água (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	73
Quadro 4.2 – Número de ramais e contadores executados (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	73
Quadro 4.3 – Tipo e número de clientes em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	73
Quadro 5.1 – Consumo do reservatório R1 ao longo de um dia, durante uma semana	79
Quadro 5.2 – Consumo do reservatório R2 ao longo de um dia, durante uma semana	80
Quadro 5.3 – Consumos ZMC R1Z1 e R1Z2.....	92
Quadro 5.4 – Consumos R1Z3 e R1Z4	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Graf. 2.1 – Percentagem de água não faturada nos vários municípios (ERSAR, 2013)	28
Graf. 2.2 – Nível económico de perdas (ALEGRE, <i>et al.</i> , 2005)	48
Graf. 2.3 – Comportamento típico de consumo, predominantemente residencial, ao longo de um dia (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	51
Graf. 4.1 – Evolução dos clientes da rede (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	74
Graf. 4.2 – Evolução dos volumes de água adquirida, faturado e não faturado (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	75
Graf. 4.3 – Evolução das percentagens de água faturada e não faturada (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	75
Graf. 4.4 – Decomposição da água não faturada em relação à água entrada no sistema em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	76
Graf. 4.5 – Decomposição dos 27,2% de água não faturada em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	77
Graf. 4.6 – Decomposição dos 15,1% das perdas reais em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)	77
Graf. 5.1 – Consumo do reservatório R2 ao longo de um dia, durante uma semana	81
Graf. 5.2 – Média dos consumos dos reservatórios R1 e R2 de uma semana, ao longo de um dia ...	82
Graf. 5.3 – Média dos consumos dos reservatórios R2 e R1 ponderado, de uma semana, ao longo de um dia	83
Graf. 5.4 – Média dos consumos dos reservatórios R2 e R1 após ponderação, de uma semana, ao longo de um dia	84

SÍMBOLOS

A	– Área da secção da tubagem [m ²]
A _o	– Secção do orifício [m ²]
A3	– Água entrada no sistema [m ³]
A13	– Consumo autorizado não faturado [m ³]
A15	– Perdas de Água [m ³]
A18	– Perdas Aparentes [m ³]
A19	– Perdas Reais [m ³]
A21	– Água não faturada [m ³]
C	– Coeficiente de vazão [-]
C8	– Comprimento de condutas [Km]
C24	– Número de ramais [-]
C25	– Comprimento médio dos ramais [m]
D	– Diâmetro interno da tubagem [mm]
D34	– Pressão média de operação [KPa]
f _p	– Fator de ponta instantâneo [-]
g	– Aceleração da gravidade [m/s ²]
G5	– Custos correntes [€]
G57	– Tarifa média para consumidores diretos [€]
G58	– Custo unitário assumido das perdas reais [€]
H	– Pressão mínima [KPa]
H _m	– Carga hidráulica [m]
H1	– Duração do período de referência [t]
N	– Expoente da lei de vazão [-]
n	– Número de pisos acima do solo, incluindo o rés-do-chão [-]
Op27	– Indicador de perdas reais por ramal [m ³ /ramal/dia]
P	– Pressão de serviço do fluido [m.c.a.]
P _{final}	– Pressão final após redução da pressão [m]
P _{inicial}	– Pressão inicial anterior à redução da pressão [m]
Q	– Caudal escoado pelo orifício [m ³ /h]
Q _{final}	– Caudal de perdas após redução da pressão [m ³ /s]
Q _{inicial}	– Caudal de perdas antes da redução da pressão [m ³ /s]

Q_{ma} – Caudal médio anual [L/s]

Q_p – Caudal de ponta instantâneo [L/s]

V – Velocidade de escoamento [m/s]

WR1 – Indicador de desempenho de perdas reais num SAA [%]

ABREVIATURAS

A – Aço carbono

AC – Autoridade da Concorrência

AdP – Águas de Portugal

AF – Água Faturada

ANF – Água Não Faturada

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APDA – Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas

CMN – Caudal Mínimo Noturno

DGC – Direção Geral do Consumidor

EG – Entidade Gestora

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Abastecimento de Água e Resíduos

FC – Fibrocimento

FFD – Ferro Fundido Dúctil

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos

INAG – Instituto Nacional da Água

IWA – International Water Association

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LP – Linha Piezométrica

MAMAOT – Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território

NEP – Nível Económico de Perdas

NEPr – Nível Económico de Perdas Reais

PEAASAR II – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PENSAAR – Plano Estratégico Nacional para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PERSU II – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos e Urbanos

PRFV – Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro

PVC – Policloreto de Vinilo

RGSPDADAR – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais

R1 – Reservatório 1

R2 – Reservatório 2

SIG – Sistema de Informação Geográfica

VRP – Válvula Redutora de Pressão

ZMC – Zona(s) de Medição e Controlo

1

INTRODUÇÃO

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

As perdas de água constituem uma das principais fontes de ineficiência das Entidades Gestoras (EG), registando-se perdas de cerca de 30% em países desenvolvidos. Até à entrega ao consumidor, a água passa por vários processos, como são exemplo a captação, tratamento e armazenamento. Neste percurso dão-se perdas significativas de água, não havendo a faturação devida por parte das EG.

As perdas de água reais têm vindo a captar a atenção das EG no sentido de as reduzir, diminuindo a água não faturada (ANF) e obtendo-se uma faturação conseqüentemente maior. Com este aumento da faturação, não só é permitida a atenuação das tarifas por parte da EG, como também favorece a credibilidade da respetiva EG.

As perdas de água dividem-se em perdas aparentes e perdas reais. As perdas reais correspondem às perdas físicas de água até ao contador do cliente, através de fissuras, roturas e extravasamento. As perdas aparentes incluem todos os tipos de imprecisões relativas às medições de água produzida e consumida e ainda o consumo não autorizado, por furto ou uso ilícito. Visto que o controlo destas perdas é cada vez mais relevante, pois possibilita a aplicação de tarifas menores, cada vez mais são estudadas novas formas de monitorização/supervisão para prevenção e previsão de extravasamento em reservatórios, roturas e fugas de água em condutas.

A implementação de Zonas de Medição e Controlo (ZMC), com a ajuda de um sistema de telegestão, permite que de uma forma mais fácil sejam detetadas fugas e roturas no sistema de abastecimento. Para além disto, também possibilita um melhor desempenho do sistema, uma vez que as zonas com características idênticas tendem a ser agrupadas. Assim, com pequenas zonas de estudo já formadas, é possível controlar de uma forma ativa as perdas de água do sistema de abastecimento. Contribui-se, assim, para uma maior eficiência e eficácia por parte da EG, uma vez que se tende a diminuir a percentagem de perdas de água.

Esta dissertação é realizada no âmbito da redução das perdas de água reais em SAA, com a definição de critérios para a delimitação de ZMC.

Assim, procedeu-se ao estudo de uma zona de Vila Nova de Gaia, inserida no SAA de Gaia, com vista ao cumprimento dos objetivos.

1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Para a melhor compreensão do desenrolar da presente dissertação apresenta-se de seguida uma explicação geral dos assuntos tratados em cada capítulo.

Capítulo 1

Capítulo inicial de descrição geral do problema em causa, bem como a apresentação do objetivo geral.

Capítulo 2

Neste capítulo aborda-se o sistema de abastecimento de água, contextualizando-se o panorama de abastecimento de água em Portugal. Apresentam-se os principais problemas do setor em estudo nos dias de hoje, de modo a introduzir as perdas de água. Procede-se à definição de perdas aparentes e reais de água e fatores que as influenciam bem como as consequências destas numa perspetiva da EG. Dá-se especial importância às perdas reais de água, tema principal desta dissertação. Apresenta-se o Balanço Hídrico bem como os principais indicadores a considerar. Dá-se ainda a definição de Zonas de Medição e Controlo. Refere-se com pormenor este método de controlo ativo de perdas reais e tudo o que lhe está associado, de forma a ficar bem clara a sua importância quando utilizado num sistema de abastecimento de água. Apresentam-se ainda os principais métodos de quantificação de perdas e equipamentos mais relevantes para a deteção exata de fugas.

Capítulo 3

É neste capítulo que são apresentados os objetivos específicos e o âmbito desta dissertação.

Capítulo 4

Será descrito neste capítulo o sistema de abastecimento de água da cidade de Gaia, a sua contextualização histórica e evolução da água faturada ao longo dos tempos.

Capítulo 5

É neste capítulo que se definem os critérios para a delimitação das ZMC, subtema da presente dissertação: definição de critérios para delimitação de Zonas de Medição e Controlo.

De seguida é apresentado o caso da delimitação de ZMC como meio de controlo de perdas. O objetivo fundamental visa definir Zonas de Medição e Controlo na zona abastecida por um reservatório, tendo por base os critérios anteriormente definidos, de forma a poder-se identificar os principais problemas possíveis para a ocorrência de perdas de água.

Capítulo 6

Capítulo final onde se encontram as conclusões do trabalho realizado, principais resultados e considerações/recomendações futuras úteis para quem faz a gestão deste setor.

2

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1.1. INTRODUÇÃO

O setor de abastecimento de água contribui significativamente para o desenvolvimento económico e social do País, tanto pela capacidade de gerar atividade económica e, consequentemente, de criar emprego e riqueza, como pela crescente melhoria que tem conferido às condições de vida da população. De facto, são classificados como serviços de interesse económico geral, num parecer emitido pelo Conselho Económico e Social, e como serviços públicos essenciais, o que reforça a importância dos serviços de águas e resíduos para o desenvolvimento económico e social do País. Pela sua natureza, estes serviços devem obedecer a princípios de universalidade no acesso, a preços acessíveis aos utilizadores, tendo em conta a realidade socioeconómica nacional, constituindo um importante fator de equilíbrio social. Em 2010 a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou o acesso à água potável e ao saneamento um direito humano essencial ao pleno prazer da vida e de todos os outros direitos humanos, reforçando assim a importância e a preocupação que cada vez mais recaem sobre este setor.

O valor económico do mercado criado pela atividade deste setor é também relevante, tanto em termos de investimento em infraestruturas, como em termos de gestão e exploração de sistemas e atividades complementares, enquanto fornecedores de serviços, materiais e produtos, tendo-se assistido ao crescimento de uma verdadeira indústria da água, sendo previsível que se assuma como um setor de ponta em termos de crescimento, volume de investimentos, geração de emprego e promoção do desenvolvimento tecnológico. O desenvolvimento empresarial nos serviços de águas em Portugal encontra-se ainda numa fase de crescimento e expansão, embora tenha abrandado nos últimos anos, tanto a criação de novos sistemas multimunicipais de águas e resíduos, como a empresarialização dos serviços. (ERSAR, 2011)

2.1.2. COMPONENTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) possuem infraestruturas capazes de produzir e distribuir um bem económico de elevado valor que é a água para consumo humano. Compreendem todo o tipo de componentes hidrológicas e hidráulicas incluindo a bacia para captação de água, reservatórios de armazenamento de água, estruturas de transporte de água nas diferentes etapas e estruturas para bombagem, quando o transporte de água assim o exige.

Na escolha da bacia para captação de água deve ter-se em conta a qualidade da água existente bem como fatores económicos. A captação consiste na retirada de água bruta da bacia para entrada em estações de tratamento de água, ou diretamente em sistemas de adução e de distribuição. Dada a entrada de água nas estações de tratamento produz-se água potável pronta para seguir caminho até aos sistemas de adução. Entretanto, poderão ocorrer transferências de água, sejam estas por importação ou exportação. Com vista ao bom funcionamento de um SAA recorre-se à construção de reservatórios de água, sendo possível armazenar água em períodos de consumo inferior posteriormente utilizada aquando de consumos elevados. O transporte final é realizado por intermédio de condutas distribuidoras, levando a água do reservatório até ao consumidor final. Por vezes, torna-se impossível fazer chegar a água ao consumidor final apenas por gravidade surgindo a necessidade de efetuar a bombagem da mesma. Também há casos opostos, em que a existência de elevadas quedas leva à construção de andares de pressão, com vista à diminuição de perdas de carga ao longo do trajeto da água.

Na Figura 2.1, encontra-se um esquema geral das diferentes passagens da água desde a captação até ao consumidor final. Os medidores de caudais apresentados têm como objetivo o controlo da água que circula no sistema, para posterior análise das perdas de água. Num mundo perfeito, verificar-se-iam perdas nulas, sendo o caudal de entrada igual ao de saída, o que na realidade não acontece devido a vários fatores que mais à frente serão abordados.

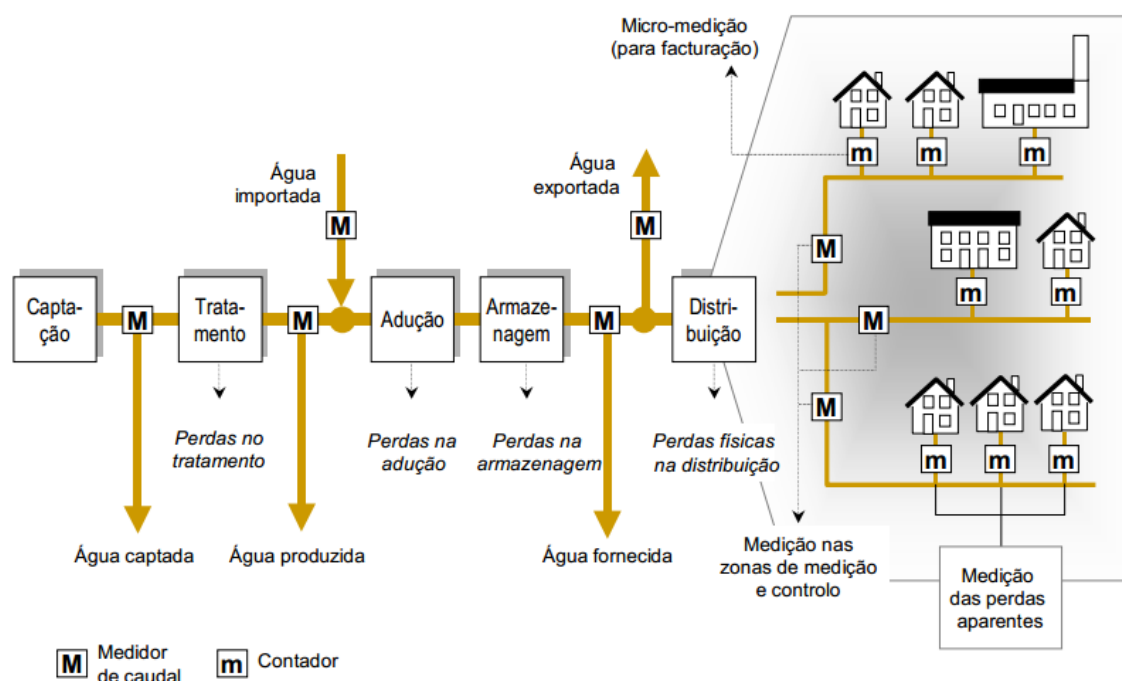


Fig. 2.1 – Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com os componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal (ALEGRE, *et al.*, 2006)

2.1.2.1. Captação

As EG em alta foram criadas com o objetivo, entre outros, de suprir dificuldades de abastecimento anteriormente ocorridas em boa parte do território nacional, bem como introduzir uma maior

racionalização na gestão de um recurso cada vez mais escasso. Devido ao fornecimento diário de volumes elevados de água, surgiu a necessidade de recorrer à água de origem superficial, em detrimento das águas de origem subterrânea. Há concelhos de Portugal Continental que utilizam exclusivamente água de origem superficial, e, pelo contrário, há outros que apenas utilizam água de origem subterrânea. Contudo, genericamente, a água de origem superficial é a mais utilizada apresentando valores, em média, 70% acima da água de origem subterrânea.

O recurso à água de fontanários não ligados à rede de distribuição pública é um hábito antigo da população portuguesa, muitas vezes devido à inacessibilidade de água canalizada nas suas habitações. Forçado pela entrada em vigor do artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, ocorreu um aumento do controlo da qualidade da água fornecida à população através de fontanários que constituem origem única de água para consumo em zonas sem rede pública. No que diz respeito ao controlo da água proveniente de fontanários não ligados à rede pública, não sendo por isso uma origem única de água para consumo, as EG têm vindo a clarificar as situações existentes também por aplicação do mesmo artigo, optando por não fazer o controlo para a maioria desses fontanários, colocando apenas placas informativas de água não controlada. A maioria dos fontanários origem única de água encontra-se na zona centro, verificando-se um aumento da desinfeção dos mesmos ao longo destes últimos anos.

A captação de água para abastecimento tem assim diferentes origens: água pluvial, água superficial ou água subterrânea (FIGUEIREDO, 2012):

- **Água pluvial**

Trata-se de água captada pela superfície de telhados e posteriormente encaminhada para cisternas que a armazenam para o abastecimento individual. Há casos em que se preparam superfícies de captação e se encaminha a água para reservatórios destinados ao abastecimento de populações com consumos reduzidos.

- **Água superficial**

Como o próprio nome indica, trata-se de água à superfície, como cursos de água ou lagos onde se verificam caudais disponíveis para captação, não comprometendo os caudais mínimos a garantir no curso de água. Por vezes, tornando-se imperativa a captação de água num curso de água com caudal de estiagem insuficiente, mas caudais médios adequados às necessidades de abastecimento, recorre-se a albufeiras de regularização, construindo-se um açude ou barragem.

A captação de água do mar é solução em caso de escassez de água doce devido ao custo e tempo associados à dessalinização desta. Também será solução quando a água doce se encontra a uma distância considerável dos locais de utilização.

- **Água subterrânea**

A água subterrânea é captada em aquíferos, isto é, formações geológicas com suficiente permeabilidade e capacidade de armazenamento. A captação desta água pode realizar-se a diferentes profundidades ou, até, à superfície, nos casos de afloramento superficial do aquífero (nascentes, furos artesianos).

Apresenta-se, de seguida, o Quadro 2.1 comparativo das características das diferentes origens de captação. Note-se que é necessário efetuar um estudo aprofundado dos aspetos quantitativos, qualitativos e ambientais, sendo possível enumerar, a título meramente indicativo, algumas características associadas a cada uma das origens.

Quadro 2.1 – Características das águas captadas (FIGUEIREDO, M.P., 2012)

	Água pluvial	Água superficial	Água subterrânea
Quantidade	Reduzida	Elevada	Variável
Qualidade	Boa	Variável	Boa
Constância de propriedades	Razoável	Reduzida	Elevada
Facilidade de captação	Grande	Razoável	Reduzida

Nem sempre são assim classificadas as diferentes origens, dependendo de situação para situação. Por exemplo, nem sempre as águas subterrâneas apresentam elevada qualidade devido ao uso incorreto de fertilizantes na agricultura. Em períodos de estiagem também não é correto indicar a quantidade elevada às águas superficiais, sendo usual afirmar-se que as origens superficiais asseguram a captação de caudais mais elevados com maior facilidade enquanto as subterrâneas apresentam uma maior constância de composição química ao longo do tempo. As águas pluviais destacam-se pela qualidade e pela relativa facilidade de captação.

2.1.2.2. Armazenamento

O volume diário de consumo de uma dada população apresenta várias oscilações ao longo do dia, sendo, por norma, muito superior no período diário, mas especificamente em horas propícias a refeições. Com isto, e dada a impossibilidade de construção de condutas com diâmetros exageradamente grandes, surge a necessidade de construção de reservatórios como meio de armazenamento de água que posteriormente é utilizada para o consumo humano. Os reservatórios apresentam várias finalidades, destacando-se as seguintes (SOUSA, 2001):

- Servir de volante de regularização, compensando as flutuações de consumo face à adução:
 - Regularização diária (entre horas do dia)
 - Regularização inter-diária (entre dias do ano)
- Constituir reservas de emergência para combate a incêndios ou para assegurar a distribuição em casos de interrupção voluntária ou accidental do sistema de montante;
- Reservas para:
 - Combate a incêndios
 - Variação de qualidade da água na origem
 - Acidente na captação
 - Intervenções de reparação ou manutenção na conduta adutora
 - Corte de energia elétrica (paragem dos grupos eletrobomba)
- Equilibrar as pressões na rede de distribuição;
- Regularizar o funcionamento das bombagens.

Os reservatórios classificam-se segundo a sua função, implantação e capacidade (Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de Agosto).

- Consoante a sua função:
 - de distribuição ou equilíbrio
 - de regularização de bombagem

- de reserva para combate a incêndio
- Consoante a sua implantação (Figura 2.2)
 - enterrados
 - semi-apoiado
 - apoiado
 - elevados (torres de pressão)
- Consoante a sua capacidade:
 - pequenos ($V < 500\text{m}^3$)
 - médios (entre 500 m^3 e 5000m^3)
 - grandes ($V > 5000\text{m}^3$)

No que diz respeito à localização dos reservatórios estes devem encontrar-se o mais próximo possível do centro de gravidade dos locais de consumo, a uma cota que garanta as pressões mínimas em toda a rede. No caso de se tratar de zonas acidentadas, pode criar-se patamares de pressão, podendo existir vários reservatórios em áreas muito extensas. Há casos onde a expansão se dá numa direção, podendo existir um reservatório de extremidade a um nível inferior, para equilibrar as pressões na rede.

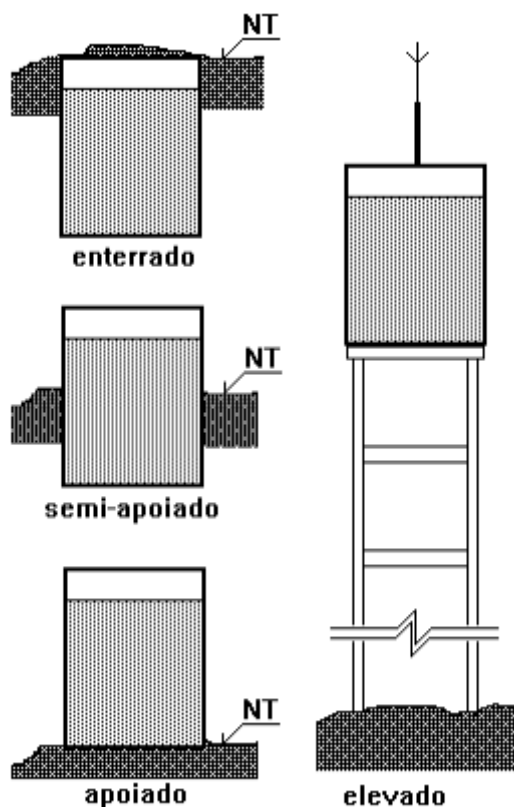


Fig. 2.2 – Classificação dos reservatórios quanto à sua implantação
(<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html>)



Fig. 2.3 – Reservatório R20 (OLIVEIRA, P.S., 2010)

2.1.2.3. Rede de distribuição

A rede de distribuição de água caracteriza-se por ser um sistema de condutas e elementos acessórios capazes de distribuir a água à população em boas condições de utilização. A chegada da água da rede geral pública à propriedade a servir é conseguida pela instalação de ramais domiciliários.

Existem vários tipos de redes diferenciando-se pela disposição das condutas no espaço e consequente percurso do caudal na rede. Trata-se de redes ramificadas e emalhasadas.

As redes ramificadas, Figura 2.4, caracterizam-se pelo assumir de um único percurso entre o reservatório e qualquer ponto da rede.

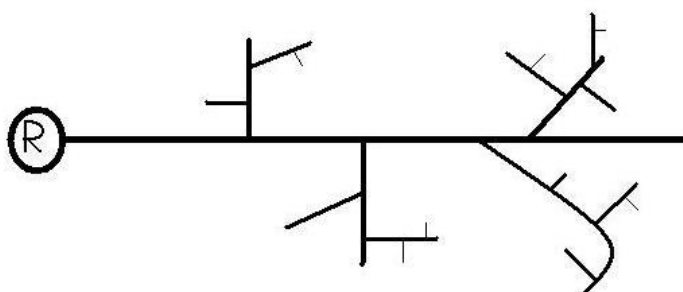


Fig. 2.4 – Rede ramificada

Requer um pequeno número de acessórios, permitindo a utilização de diâmetros mais económicos, estando na base um dimensionamento hidráulico básico. Contudo, devido ao sentido único realizado pelo escoamento, os sedimentos tendem a acumular-se nos pontos terminais, podendo originar a obstrução total ou parcial da conduta, impossibilitando a chegada de água às habitações. Por esse mesmo motivo, em caso de avaria, todo o abastecimento é interrompido para jusante da mesma, tratando-se de um fator bastante negativo quando se pretende um abastecimento capaz de satisfazer o consumidor. As variações do consumo ao longo do tempo têm elevada influência nas pressões registadas na rede, isto é, quando, por exemplo, se regista um aumento de consumo a pressão na rede pode tornar-se insuficiente, levando, por vezes, a várias reclamações por parte dos clientes (SOUSA, 2001).

Nas redes emalhadas, Figura 2.5, as condutas fecham-se sobre si mesmas constituindo malhas.

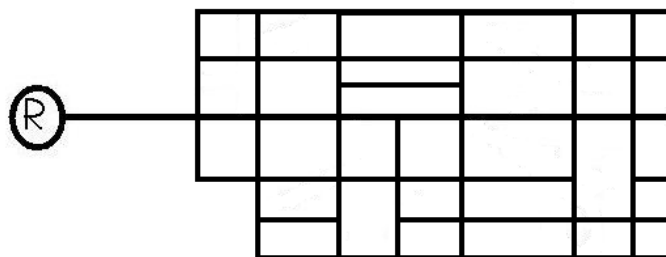


Fig. 2.5 – Rede emalhada

No caso de redes emalhadas, o escoamento pode realizar-se em ambos os sentidos, bidirecional, as avarias a registar-se não impedem o abastecimento a jusante desta e não se trata de uma rede fortemente afetada pela variação de consumos na pressão. Exige a utilização de uma maior quantidade de acessórios e um dimensionamento hidráulico muito complexo.

No que compete às pressões admissíveis na rede, o Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de Agosto, no Art.21º, impõe como pressão máxima e mínima os valores de 600 KPa e 100 KPa respetivamente. Não admite variações de pressões em cada nó do sistema, ao longo do dia, superiores a 300 KPa.

A pressão na rede é dada pela diferença de altura da água no reservatório e a altura piezométrica do ponto onde se pretende medir a pressão retirando-se as perdas de cargas contínuas e localizadas entre estes dois pontos. A pressão máxima na rede ocorre no período noturno, ou seja, no período de baixos consumos, elevando-se portanto a pressão na rede. Contrariamente à pressão máxima, a pressão mínima na rede verifica-se em períodos de consumos elevados, para os quais são dimensionadas as condutas da rede, isto é, para o caudal de ponta horário, sendo este o caudal médio anual multiplicado pelo fator de ponta horário, como se mostra na Equação 2.1.

$$Q_p = f_p \times Q_{ma} \quad (2.1)$$

Sendo,

Q_p – Caudal de ponta instantâneo [L/s]

f_p – Fator de ponta instantâneo [-]

Q_{ma} – Caudal médio anual [L/s]

A pressão mínima na rede pública ao nível do arruamento é dada pela Equação 2.2:

$$H = 100 + 40n \quad (2.2)$$

Sendo,

H – Pressão mínima [KPa]

n – Número de pisos acima do solo, incluindo o rés-do-chão [-]

Na Figura 2.6 ilustram-se as linhas piezométricas (LP) características dos consumos máximo e mínimo. Confirma-se a existência de uma pressão superior no período de menor consumo, já que o reservatório apresenta à partida uma altura de água superior e as perdas de carga contínuas são inferiores devido à passagem de um caudal inferior. Por outro lado, no período de maior consumo, a pressão na rede é mínima visto a altura de água no reservatório estar muito próxima da mínima e as perdas de carga contínuas apresentarem valores elevados, como é possível constatar pela análise do declive da LP.

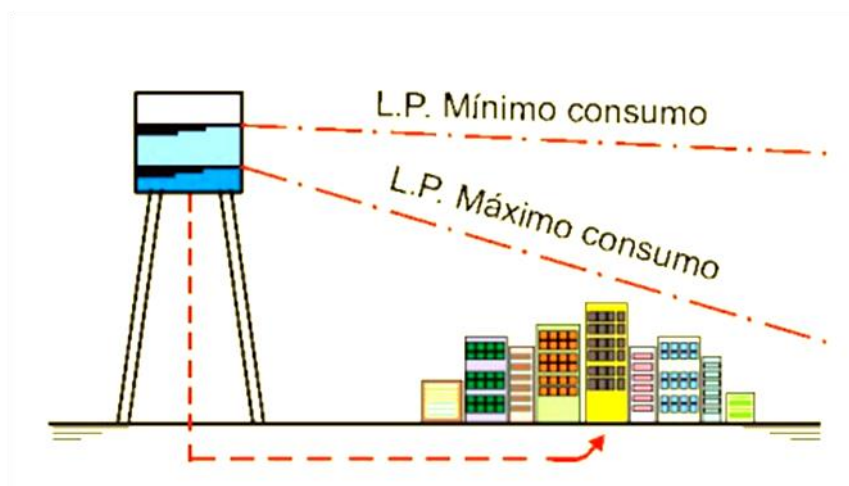


Fig. 2.6 – Linhas piezométricas dos consumos máximo e mínimo

(http://ftp.unilins.edu.br/cursos/Saneamento_Meio_Ambiente_T4/Aula_200310_Prof_AdiltonSchiavon/p_s-unilins%20aula%2020-03-10%20projetos%20de%20redes%20de%20distribui_o%20de%20_gua.pdf)

No dimensionamento hidráulico deve ter-se em conta a minimização dos custos, utilizando-se os diâmetros mais económicos possíveis. Para tal, e segundo o Decreto Regulamentar nº23/95 – Artigo 21º, a velocidade de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder o valor calculado pela Equação 2.3:

$$V = 0,127D^{0,4} \quad (2.3)$$

Sendo,

V – Velocidade de escoamento [m/s]

D – Diâmetro interno da tubagem [mm]

A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no início de exploração do sistema não deve ser inferior a 0,3 m/s e nas condutas onde não seja possível verificar este limite devem prever-se dispositivos adequados para descarga periódica.

Em relação à circulação de água entre a rede pública e os dispositivos de alimentação, o RGSPDADAR [N12] faz referência, no Anexo III, à terminologia adotada. Citando o mesmo regulamento, a ligação entre o sistema público e os dispositivos de utilização é, como se pode observar na Figura 2.7, constituída por:

Ramal de ligação – canalização entre a rede pública e o limite da propriedade a servir.

Ramal de introdução coletivo – canalização entre o limite da propriedade e os ramais de introdução individuais dos utentes.

Ramal de introdução individual – canalização entre o ramal de introdução coletivo e os contadores individuais dos utentes ou entre o limite da propriedade e o contador, no caso de edifício unifamiliar.

Ramal de distribuição – canalização entre os contadores individuais e os ramais de alimentação.

Ramal de alimentação – canalização para alimentar os dispositivos de utilização.

Coluna – troço de canalização de prumada de um ramal de introdução ou de um ramal de distribuição.

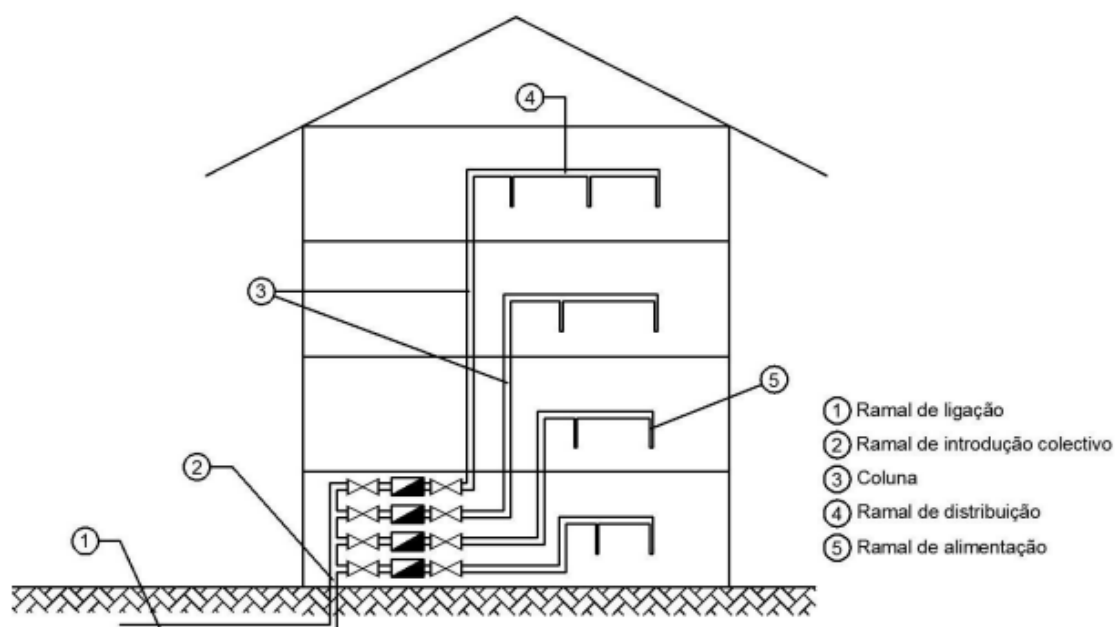


Fig. 2.7 – Ligação entre o sistema público e os dispositivos de utilização (PEDROSO, V.M.R., 2007)

O abastecimento do edifício com recurso à rede pública pode ser conseguido de diferentes formas. Dependendo do caudal e pressão existentes na rede é possível abastecer diretamente os diferentes dispositivos – alimentação direta (Figura 2.8), ou poderá ser necessário recorrer a um reservatório para proporcionar um abastecimento em boas condições – alimentação indireta (Figura 2.9).

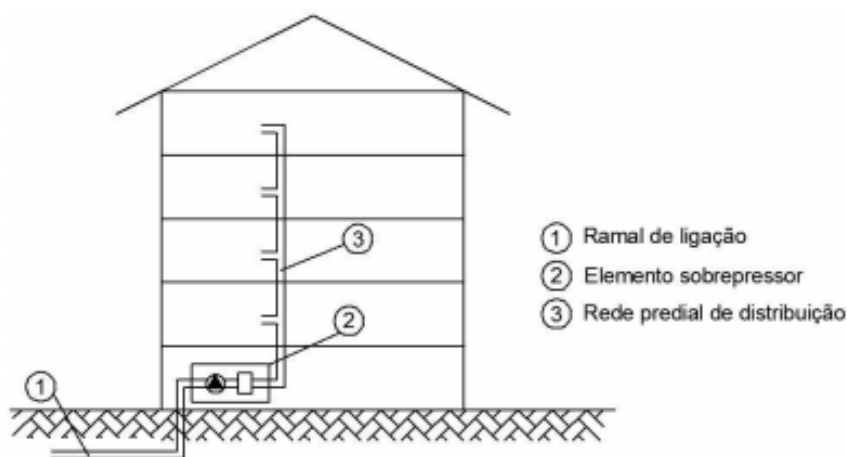


Fig. 2.8 – Alimentação direta com elemento sobrepessor (PEDROSO, V.M.R., 2007)

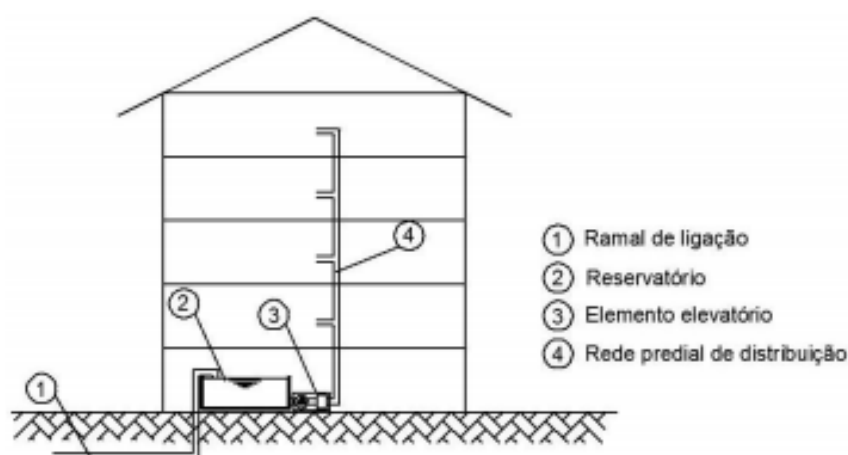


Fig. 2.9 – Alimentação indireta com reservatório na base e elemento elevatório (PEDROSO, V.M.R., 2007)

Relativamente aos materiais das condutas adutoras e distribuidoras destacam-se (GRILLO, 2007):

- **Fibrocimento (FC)**

As condutas de fibrocimento foram muito utilizadas nas décadas de 60 e 70 para condutas em pressão, sendo compostas por fibras de amianto e cimento. Atualmente, este material caiu em desuso dada a natureza cancerígena de um dos seus componentes, o amianto, existindo, no entanto, extensões significativas de condutas deste material em redes mais antigas.

- **Aço Carbono (A)**

As condutas de aço carbono utilizam-se em sistemas de abastecimento de água, de drenagem de águas residuais e de águas pluviais e em emissários submarinos. Estas condutas permitem temperaturas de líquido e pressões elevadas.

- **Ferro Fundido Dúctil (FFD)**

As condutas de ferro fundido dúctil (FFD) são particularmente adequadas para sistemas de abastecimento e distribuição de água, condutas fixas de irrigação e transporte de produtos químicos agressivos.

- **Policloreto de Vinilo (PVC)**

As condutas de policloreto de vinilo (PVC) lisas utilizam-se em sistemas sob pressão e em superfície livre, sendo a sua utilização mais comum em sistemas de abastecimento, de irrigação e para transporte de produtos químicos.

- **Poliétileno de Alta Densidade (PEAD)**

As tubagens de polietileno de alta densidade (PEAD) adequam-se ao transporte de água em sistemas de abastecimento, de rega, a captações e estações elevatórias, à drenagem de águas residuais e pluviais, a emissários submarinos, a estações de tratamento e ao transporte de produtos químicos agressivos ou de produtos sólidos.

- **Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro (PRFV)**

As condutas de poliéster reforçado a fibra de vidro (PRFV) adequam-se a sistemas de abastecimento de água, a drenagem de águas residuais e de águas industriais, a emissários submarinos e à reabilitação de tubagens, por aplicação destes tubos no interior dos existentes. Estas condutas podem permitir temperaturas de líquido até 90°C.

Por forma a ultrapassar as diferentes adversidades, sejam elas de mudança de direção, sentido, de diâmetro, de material, entre outras, é necessário recorrer a vários acessórios. Há uma distinção entre os acessórios que permitem a ligação entre tubos – “acessórios de tubos”, e aqueles que contribuem para o bom funcionamento da rede, isto é, permitem o fecho de água aquando de avarias, a redução de pressão, descargas de fundo, libertação de ar e ainda de utilização pública para incêndios, bebedouros, fontanários, bocas de rede – “acessórios de rede”. Nestes dois grupos de acessórios destacam-se:

- Acessórios de condutas dos tubos: curva, cruzeta simples ou de redução, tê simples ou de redução, cone de redução, junta cega e filtros;



Fig. 2.10 – Junta de montagem (SAINT-GOBAIN PAM, 2007)



Fig. 2.11 – Tê (SAINT-GOBAIN, 2014)

- Válvulas de seccionamento para permitirem o isolamento de qualquer setor da rede em caso de avaria. É, assim, necessário localizarem-se e protegerem-se devidamente;



Fig. 2.12 – Válvula de seccionamento (SAINT-GOBAIN PAM, 2007)

- Válvulas de descarga com vista ao esvaziamento de troços de condutas e de partes de redes de distribuição. Devem colocar-se nos pontos baixos das condutas, entre válvulas de seccionamento, para se proceder à limpeza, desinfeção ou reparação;



Fig. 2.13 – Válvula de descarga (MANKENBERG, 2014)

- Válvulas redutoras de pressão para limitarem as pressões na rede aos valores aconselháveis;



Fig. 2.14 – Válvula redutora de pressão (MANKENBERG, 2014)

- Válvulas de retenção para evitarem o escoamento em ambos os sentidos;



Fig. 2.15 – Válvula de retenção (SAINT-GOBAIN PAM, 2006)

- Ventosas localizadas nos pontos altos com finalidade de admissão ou expulsão de ar da conduta. As ventosas de 3 funções permitem (SAINT-GOBAIN PAM, 2006):
 - Evacuação automática de grandes quantidades de ar durante o enchimento da conduta;
 - Desgaseificação permanente;
 - Admissão de grande caudal de ar durante o esvaziamento da conduta, de forma a evitar que esta entre em depressão;



Fig. 2.16 – Ventosa de 3 funções (SAINT-GOBAIN PAM, 2006)

- Medidores de caudal e contadores domiciliários para medição e controle dos caudais escoados na rede;



Fig. 2.17 – Medidor de caudal eletromagnético (TECNILAB, 2014)

- Hidratantes – boca-de-incêndio e marcos de água para uso exclusivo por parte dos bombeiros e serviços municipais;

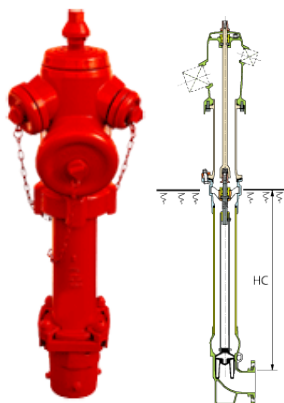


Fig. 2.18 – Marco de incêndio (SAINT-GOBAIN PAM, 2007)

- Boca de rega e de lavagem para uso exclusivo de entidades autorizadas.



Fig. 2.19 – Boca de rega (GODINHO, A., 2014)

2.2. ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL

Portugal é um país com uma população aproximada de 10,5 milhões de habitantes (Censos 2011), dispersa por cerca de 92.000 km² de área, encontra-se organizado administrativamente em distritos, municípios, que constituem a base da estrutura administrativa do país, também denominados concelhos, geridos pelas Câmaras Municipais, e em freguesias, administradas por Juntas de Freguesia. Presentemente, Portugal é composto por 18 distritos, 308 municípios e 3092 freguesias.

No que se refere ao abastecimento público de água, a situação nacional evoluiu significativamente nos últimos anos, fruto de um esforço de investimento importante, tendo sido determinante o cofinanciamento por fundos comunitários. Como é possível verificar na Figura 2.20, em termos de evolução, verifica-se que no início da década de 90 a cobertura do serviço de abastecimento de água era de cerca de 80%, tendo esta percentagem, desde então, vindo a aumentar contínua e significativamente, atingido 95% em 2011, com 99% nas zonas urbanas e 90% nas rurais.

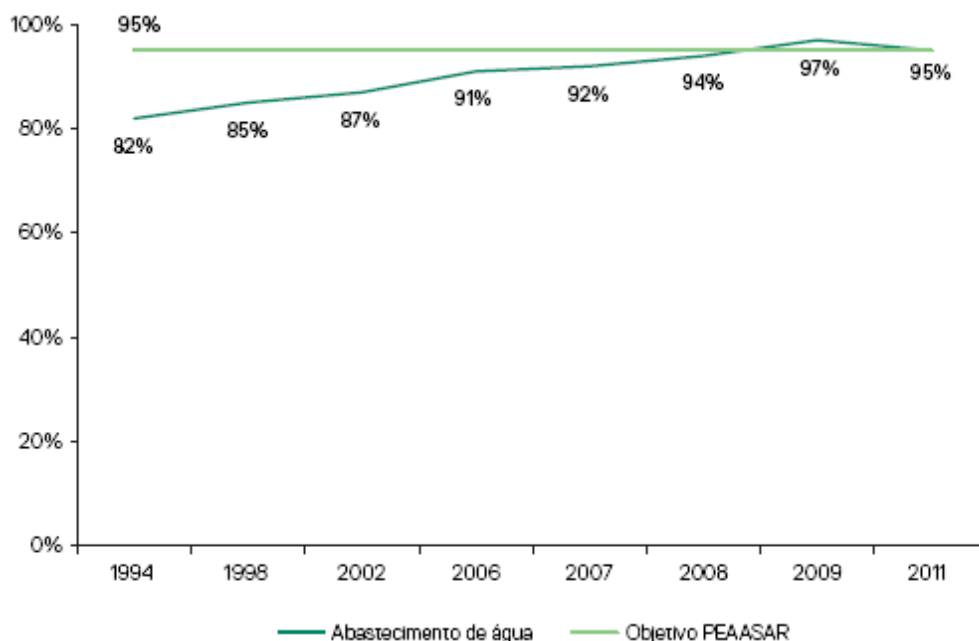


Fig. 2.20 – Evolução da cobertura do serviço de abastecimento de água (INAG e INSAAR, 2010)

No que se refere à qualidade, como ilustrado na Figura 2.21, nos últimos anos a percentagem de água controlada e de boa qualidade tem vindo a crescer de uma forma contínua. Se em 1993 apenas cerca de 50% da água poderia ser considerada segura, atualmente este indicador mantém-se próximo dos 98% (97,38% em 2010 e 97,75% em 2011), o que revela a consolidação da melhoria da qualidade da água.

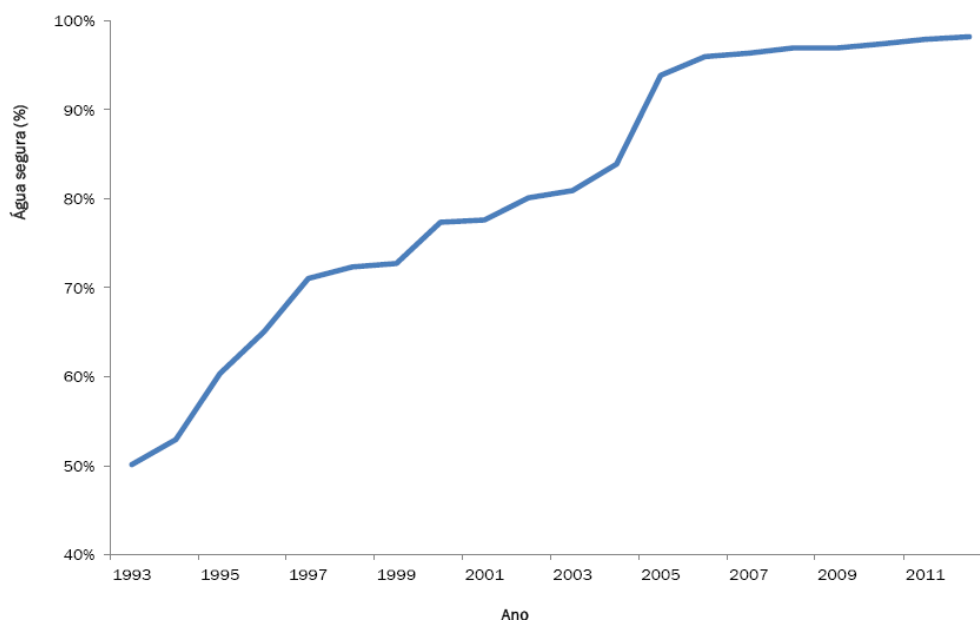


Fig. 2.21 – Evolução da água segura (INAG e INSAAR, 2010)

Bem antes do período correspondente às figuras anteriores, em 1941 apenas 26% da população tinha acesso a sistemas de distribuição de águas, sendo que em 1972 a população servida era a indicada no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – População com abastecimento de água em 1972 (MARTINS, J.P., 2012)

	População Servida (%)
Distribuição domiciliária de água	40
Distribuição de fontanários	26
Sem acesso a sistemas de distribuição	34
Acesso a redes de esgotos	17
Sem acesso a redes de esgotos ou fossas coletivas	83

Há, assim, uma grande evolução da cobertura do serviço de abastecimento de água, passando dos 26% na década de 40 para os 66% na década de 70, atingindo os 80% na década de 90 o que perfaz uma evolução média de 1% ao ano, mas com uma evolução progressivamente menor ao longo do tempo.

2.2.1. LEGISLAÇÃO

Em Portugal os SAS evidenciaram, sobretudo nas últimas duas décadas, grandes desenvolvimentos ao nível do acesso, da qualidade do serviço e da própria estrutura do mercado. O sucesso do modelo regulatório tem sido um aspeto amplamente reconhecido, tanto em termos nacionais como internacionais. A principal regulamentação existente em Portugal ao longo destes anos é a seguinte (SNIRH, 2014):

- **Portaria n.º 10367/43 de 14 Abril** – Regulamento geral de abastecimentos de água;
- **Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de Novembro** – Reestrutura o sector da água, com a sua desverticalização, separando a “alta” da “baixa”, com a abertura a capitais privados;
- **Decreto-Lei n.º 319/94, de 24 de Dezembro** – Estabelece o regime jurídico da construção, exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de captação e tratamento de água para consumo público, quando atribuídos por concessão, e aprova as respetivas bases;
- **Decreto-Lei n.º 147/95 de 21 Junho** – Cria o observatório nacional dos sistemas multimunicipais e municipais de captação, tratamento e distribuição de água para consumo público, de recolha, tratamento e rejeição de efluentes e de recolha e tratamento de resíduos sólidos e regulamenta o regime jurídico da concessão dos sistemas municipais;
- **Decreto-Lei n.º 382/99 de 22 Setembro** – Estabelece perímetros de proteção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público;
- **Decreto-Lei n.º 131/2005 de 16 Agosto** – Aprova um regime excecional e transitório de atribuição de licença para a pesquisa e captação de águas subterrâneas e para a instalação de novas captações de águas superficiais destinadas ao abastecimento público e define os critérios mínimos de verificação da qualidade da água tanto na origem como na distribuída para consumo humano;

- **Lei n.º 58/2005 de 29 Dezembro** – Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas;
- **Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 Agosto** – Estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, revendo o Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, que transpôs para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro;
- **Portaria n.º 702/2009 de 06 Julho** – Estabelece os termos da delimitação dos perímetros de proteção das captações destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano, bem como os respetivos condicionamentos;

O enquadramento institucional da água assume um cariz fundamental para o bom desempenho do setor, uma vez que define responsabilidades dos intervenientes, regras de funcionamento e adequada articulação com setores próximos, como a drenagem e tratamento de águas residuais, os recursos hídricos e o ordenamento do território.

2.2.2. PEAASAR II

Os SAS são munidos de infraestruturas capazes de efetuar a produção e distribuição da água para consumo humano, um bem ao qual todos devem ter acesso. O bom funcionamento de um SAS requer que os consumidores disponham, nos locais de consumo, água potável com caudal e pressão suficientes e com o menor custo possível. Contudo, para que tal seja possível e cumpridos os objetivos, qualquer EG procura um elevado grau de eficiência e de eficácia. A eficiência mede a rentabilização dos recursos disponíveis, isto é, até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço que depende, entre outros fatores, do modo como os sistemas são planeados, projetados, construídos e geridos. A eficácia mede o cumprimento dos objetivos. Depois de atingidos os objetivos de qualidade de serviço, as entidades gestoras devem procurar reduzir o consumo de recursos naturais (água e energia), humanos, técnicos e financeiros. (ALEGRE, *et al.*, 2005).

As orientações estratégicas para o setor estão materializadas no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II) para o período 2007-2013 e no Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II) para o período de 2007 a 2016, visando atingir elevados níveis de atendimento da população. Contudo está a ser desenvolvido o PENSAAR 2020.

Os SAS são suscetíveis à ineficiência e ineficácia e, conseqüentemente requerem incentivos para se tornarem mais eficientes e inovadores. Justifica-se, assim, a intervenção do Estado na regulação destes serviços para defesa dos interesses públicos. Os objetivos da regulação variam de país para país, sendo os principais objetivos os seguintes (MARQUES, 2011):

- Proteger os interesses dos utilizadores quanto às obrigações de serviço público;
- Promover a eficiência e a inovação;
- Assegurar a estabilidade, a sustentabilidade e a robustez dos SAS.

É de salientar que embora as obrigações de serviço público constituam um elemento essencial do modelo de desenvolvimento social, as forças de mercado não podem, por si só, assegurar as mesmas nos SAS. É por este motivo que os poderes públicos e em particular a regulação estão profundamente implicados a todos os níveis, na prestação, regulamentação, organização ou, em diferentes graus, no

financiamento ou no apoio a esses serviços. As obrigações de serviço público que por vezes são mesmo dissonantes entre si, têm consequências relevantes na regulação económica e, por conseguinte, não podem também ser dissociadas desta. Apresentam-se, de seguida, as obrigações de serviço público que devem ser garantidas nos SAS (MARQUES, 2011):

- **Universalidade:** todos os cidadãos têm acesso aos SAS, em condições de igualdade, no que respeita ao preço e à qualidade do serviço, independentemente da respetiva localização geográfica ou características sociais;
- **Equidade:** o tratamento dos utilizadores em condições de igualdade afigura-se como um princípio essencial. Desta forma procura dizimar situações de discriminação e mitigar situações de subsídio cruzada;
- **Acessibilidade:** o controlo de acessibilidade de preços e tarifas de modo a ser acessível a todas as pessoas, contribuindo para a coesão socioeconómica. A promoção da acessibilidade deve, no entanto, promover o uso eficiente da água, evitando a concessão de subsídio de consumos não essenciais;
- **Continuidade:** relaciona-se com o fornecimento permanente dos SAS, não só em quantidade apropriada, mas também com a qualidade desejada e pressão adequada. Em determinadas situações, não se torna necessário impor o requisito da continuidade, uma vez que o fornecimento ininterrupto é do interesse comercial;
- **Adaptabilidade:** revela-se na capacidade que os operadores dos SAS evidenciam de progredirem em função da evolução económica, tecnológica e mesmo social do contexto em que os mesmos são fornecidos, tal como na adaptação e resposta às necessidades individuais e particulares de cada utilizador, evitando a sua exclusão.
- **Transparência:** os processos de decisão devem ser públicos e publicitados. A justificação das tarifas e dos preços praticados deve ser clara, compreensível, justificável e de fácil verificação, bem como toda a informação de gestão e exploração. Com isto promove-se maior confiança nos utilizadores e garante-se a confiança e satisfação dos investidores;
- **Participação:** permite a obtenção de sugestões, críticas e comentários, que podem beneficiar e ajudar na tomada de decisões, contribui para melhor aceitação e redução da contestação das decisões tomadas;
- **Resolução de conflitos:** os utilizadores devem ter ao seu dispor mecanismos de resolução de conflitos, aos quais possam apelar sempre que considerarem oportuno;

É de referir que em Portugal, no sector do abastecimento de água, coexistem numerosos e diversificados tipos de intervenientes. Ao nível da administração, são de referir os papéis desempenhados pela entidade reguladora (Entidade Reguladora dos Serviços das Águas e Resíduos - ERSAR) e pelos restantes órgãos da Administração Pública, nomeadamente o Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (MAMAOT), o Instituto Nacional da Água (INAG), a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), a Direcção-Geral do Consumidor (DGC), a Autoridade da Concorrência (AC), a Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (APDA), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e os municípios. Por fim, não só associado à operação dos SAS, a empresa Águas de Portugal (AdP) possui um papel bastante relevante e estruturante no desenvolvimento do sector (MARQUES, 2011).

Enquanto ER dos serviços de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos, a ERSAR visa defender os direitos dos consumidores utentes dos sistemas multimunicipais e municipais, por um lado, e assegurar a sustentabilidade económica destes, por outro. Procedendo deste modo, pretende promover a regulação como instrumento moderno

de intervenção do Estado nos setores de atividade económica fundamentais, com vista ao seu bom funcionamento e à defesa do interesse público (ERSAR, 2011).

A atuação da ERSAR deve pautar-se pelos princípios de competência, isenção, imparcialidade e transparência, e ter em conta, de forma integrada, as vertentes técnica, económica, jurídica, ambiental, de saúde pública, social e ética, que devem caracterizar estes serviços.

2.2.3. MODELOS DE GESTÃO E ENTIDADE GESTORA

O setor de serviços de água compreende as atividades de abastecimento de água às populações e também a drenagem e o tratamento das águas sendo essencial ao bem-estar dos cidadãos, à saúde pública, às atividades económicas e à proteção do ambiente. Dada a sua importância, o fornecimento às populações em quantidade, qualidade e a um preço socialmente justo devem ser parâmetros a ter em conta.

Historicamente tem-se verificado o progressivo alargamento dos modelos de gestão disponíveis, permitindo uma decisão mais indicada para cada situação por parte da EG. Contudo, subsiste a necessidade de inovação em matéria de modelos de gestão devido à crescente exigência de serviço públicos e aos pesados investimentos necessários para colmatar problemas financeiros.

Neste contexto justifica-se, não só a definição de soluções de gestão alternativas que contribuam para a eficiência e a sustentabilidade do setor, mas também a otimização de modelos existentes, quer a nível operacional quer a nível do seu enquadramento legal.

Com vista ao bom desempenho do setor existe um conjunto de princípios de onde se destacam a universalidade de acesso, a continuidade e a qualidade de serviço, a eficiência e a equidade de preços. (ERSAR, 2011). Estes serviços são prestados por um universo de cerca de quinhentas EG, podendo ser de titularidade estatal ou municipal.

Nos casos de titularidade estatal, os modelos de gestão passíveis de serem utilizados face à legislação em vigor são:

- Gestão direta pelo Estado;
- Delegação pelo Estado em terceira entidade;
- Concessão pelo Estado em terceira entidade, como sucede com os sistemas multimunicipais concessionados.

Nos casos de titularidade municipal, os modelos de gestão passíveis de serem utilizados são:

- Gestão direta do serviço pelo município, como é o caso dos serviços municipais, dos serviços municipalizados e da associação de municípios;
- Delegação do serviço em empresa constituída em parceria com o Estado;
- Delegação do serviço pelo município em entidade integrada no respetivo setor empresarial, a que correspondem as empresas criadas pelos municípios, ou em freguesias ou associações de utilizadores;
- Concessão do serviço pelo município em empresa, como sucede com todos os sistemas municipais concessionados.

Apresenta-se, de seguida, o Quadro 2.3 com a informação anterior resumida para melhor compreensão do que se pretende transmitir.

Quadro 2.3 – Modelos de gestão de serviços utilizados no setor (ERSAR, 2011)

MODELOS DE GESTÃO UTILIZADOS EM SISTEMAS DE TITULARIDADE ESTATAL		
Modelo	Entidade Gestora (EG)	Tipo de parceria
Gestão direta	Estado	Sem parceria
Delegação	Empresa pública	Sem parceria
Concessão	Entidade concessionária multimunicipal	Parceria Público-Pública podendo evoluir para parceria Público-Privada
MODELOS DE GESTÃO UTILIZADOS EM SISTEMAS DE TITULARIDADE MUNICIPAL OU INTERMUNICIPAL		
Modelo	Entidade Gestora (EG)	Tipo de parceria
Gestão direta	Serviços municipais	Sem parceria
	Serviços municipalizados	Sem parceria
	Associação de municípios	Parceria Público-Pública
Delegação	Empresa municipal pública	Sem parceria
	Empresa Intermunicipal pública	Parceria Público-Pública
	Empresa municipal ou intermunicipal de capitais totalmente ou maioritariamente públicos	Parceria Público-Pública ou Parceria Público-Privada respetivamente
	Junta de freguesia e associação de utilizadores	Parceria Público-Pública
Concessão	Entidade concessionária multimunicipal	Parceria Público-Privada

A abordagem no âmbito dos modelos de gestão visa assegurar os objetivos fixados na Estratégia e garantir a sustentabilidade económica e financeira do sistema, garantindo a recuperação integral do custo dos serviços, otimizando a gestão operacional, eliminando custos de ineficiência e contribuindo para o reforço e dinamização do tecido empresarial privado.

Os modelos de gestão futuros têm de incluir soluções alternativas que resolvam todos os constrangimentos atuais, apresentando-se na Figura 2.22 os seus principais objetivos.

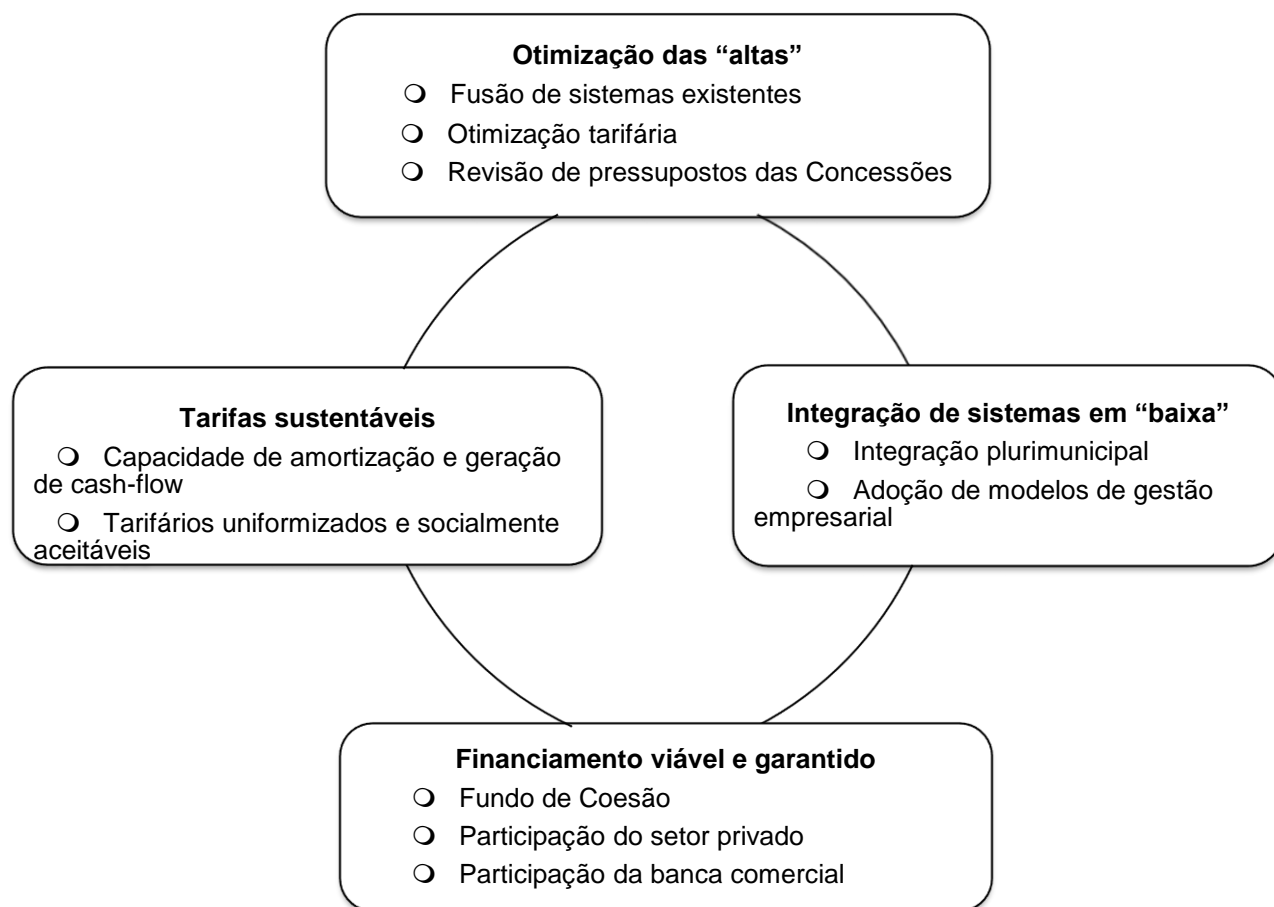


Fig. 2.22 – Objetivos dos modelos de gestão (ERSAR, 2011)

Os serviços de águas e resíduos têm sido classificados segundo as designações de “alta” e “baixa”, consoante as atividades realizadas. Esta classificação, que esteve no cerne da criação dos sistemas multimunicipais, maioritariamente responsáveis pela alta, e dos sistemas municipais, maioritariamente responsáveis pela baixa, corresponde, respetivamente, às atividades grossista e retalhista de abastecimento de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos.

A complexidade das soluções necessárias ao desenvolvimento desta atividade exige investimentos extremamente elevados, com elevados períodos de recuperação do capital e com uma elevada imobilização. Isto explica o facto de ser um setor com características de monopólio natural, onde se registam custos de produção significativamente inferiores com um único operador para cada serviço e em cada região. Importa, assim, aplicar critérios comparáveis de avaliação de qualidade de serviço e definir princípios subjacentes à fixação do preço do serviço, independentemente do modelo de gestão adotado, de forma a atingir o nível de transparência e igualdade de tratamento dos diferentes tipos de solução.

Considera-se uma distinção entre as EG “típicas”, com o objetivo de captar, tratar e vender a água (EG em alta) a outras EG responsáveis pela distribuição em baixa (EG em baixa).

Como é possível constatar na Figura 2.23, o número de EG em baixa não sofreu grande alteração ao longo destes últimos anos, verificando-se uma diminuição do número de EG, de 363 para 359, de 2011

para 2012, devido essencialmente à avocação do controlo da qualidade da água em pequenas zonas de abastecimento de alguns municípios.

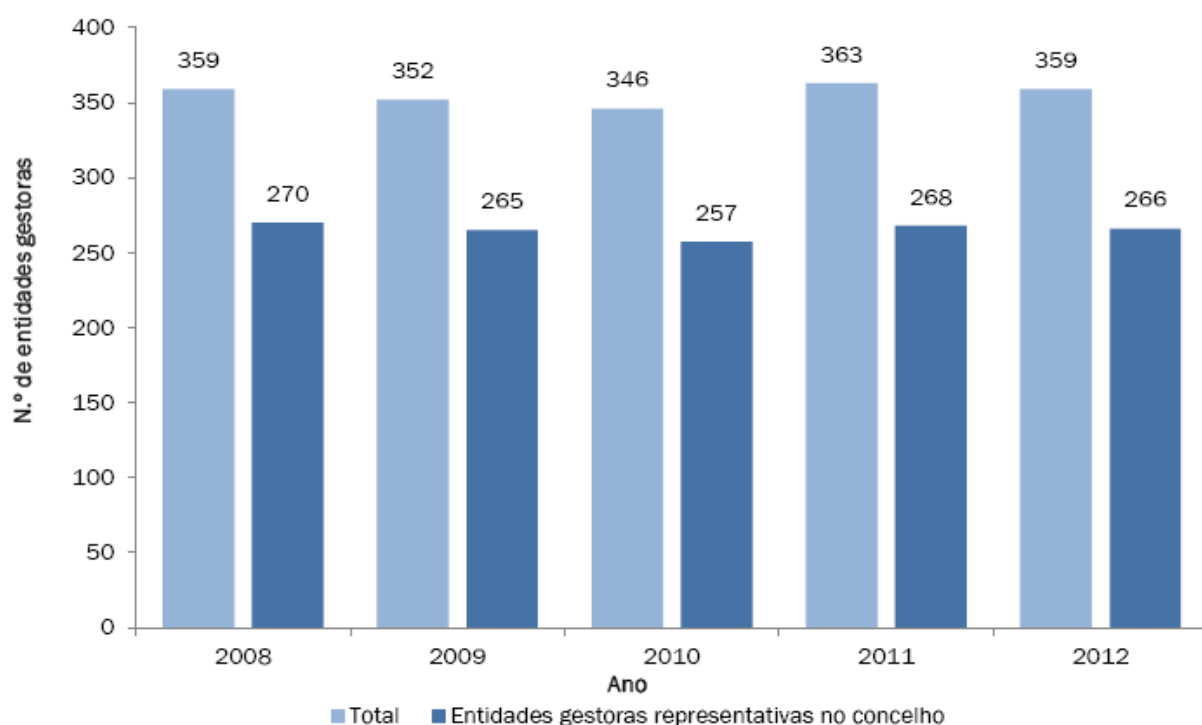


Fig. 2.23 – Evolução do número de EG em baixa (ERSAR, 2011)

Segundo a ERSAR, a distribuição das EG responsáveis pelo serviço de abastecimento de água em baixa em Portugal é conforme a da Figura 2.24.

2.2.4.2. Disparidade tarifária Litoral/Interior

A disparidade tarifária verificada entre os sistemas do litoral e do interior é um problema de coesão territorial e de justiça social. Resulta quer da diferença nos custos dos serviços, quer na diferença das opções tarifárias das EG.

As características geomorfológicas e a menor densidade populacional do interior proporcionam um custo de prestação de serviços de água significativamente maior no interior do país do que no litoral, como é possível reconhecer na Figura 2.25. Contudo, por vezes, tais disparidades tarifárias resultam de opções das EG, sobretudo quando optam por subsidiar total ou parcialmente os serviços de águas.

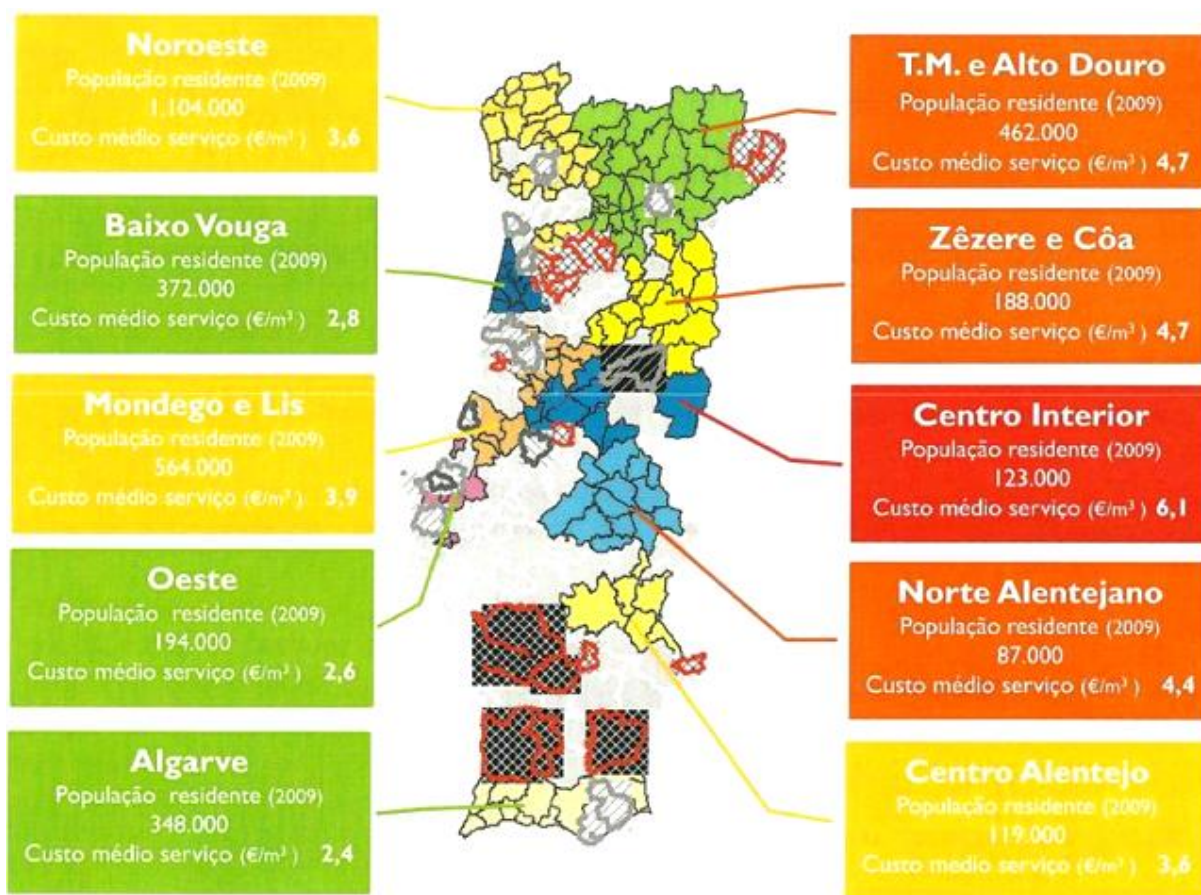


Fig. 2.25 – Distribuição dos custos de serviço prestado (MAGALHÃES, M., 2012)

Independentemente da causa desta disparidade tarifária trata-se de uma situação preocupante pois aumenta os custos relativos de viver e trabalhar no interior do país, afetando os níveis de rendimento e a capacidade económica de populações e empresas locais.

2.2.4.3. Ausência de recuperação integral de custos pelas tarifas

A recuperação integral de custos pelas tarifas é uma orientação da Diretiva-Quadro da Água. A ausência de recuperação obriga à subsidiação dos serviços pelos contribuintes, induzindo irracionalidade no sistema.

Nalguns casos, devido à falta de financiamento por parte do Estado, muitas autarquias não cumprem o pagamento das tarifas da alta, levando à insustentabilidade do sistema. A falta de fundos para manutenção e renovação das redes mais antigas é outra situação preocupante pois num curto prazo ampliam-se as perdas de água, aumentando os custos de reparação e as necessidades de futuros investimentos.

2.2.4.4. Ineficiências e perdas na operação do sistema

A eficácia e a eficiência são objetivos das EG, contudo encontram-se números significativos de situações de ineficiência e perdas nos sistemas devido essencialmente ao sobredimensionamento de redes, desarticulação entre sistemas de alta e de baixa e desaproveitamento dos potenciais ganhos com eficiência energética.

2.2.4.5. Incumprimento da legislação ambiental

Há situações de incumprimento da legislação ambiental grande parte das vezes devidas ao desajustamento das infraestruturas às exigências legais. Ainda assim, com a falta de investimento, as infraestruturas não são reparadas ou substituídas, agravando-se o problema ao longo do tempo.

2.3. PERDAS DE ÁGUA

2.3.1. INTRODUÇÃO

Considera-se, demasiadas vezes, a água como um recurso limitado, isto é, um recurso não renovável, de impossível regeneração através de processos naturais a uma taxa igual ou superior ao do consumo humano. Na verdade trata-se de um recurso natural renovável pois esta é repostada constantemente na natureza (ciclo da água). Contudo, o desperdício de água para consumo, seja ele de que grandeza for, deve ser evitado, pois apesar da elevada abundância de água bruta, é necessário um elevado investimento nos processos de captação e tratamento desta para que se consiga obter água própria para consumo. Assim, com o aumento de consumos e perdas, exige-se um investimento cada vez maior por parte de quem explora, obrigando estes a aplicar tarifas superiores ao consumidor final. Torna-se imperativo diminuir as perdas de água mas, para tal, é necessário identificar os locais com condutas envelhecidas, contadores parados ou danificados, fugas em reservatórios e zonas com pressões elevadas.

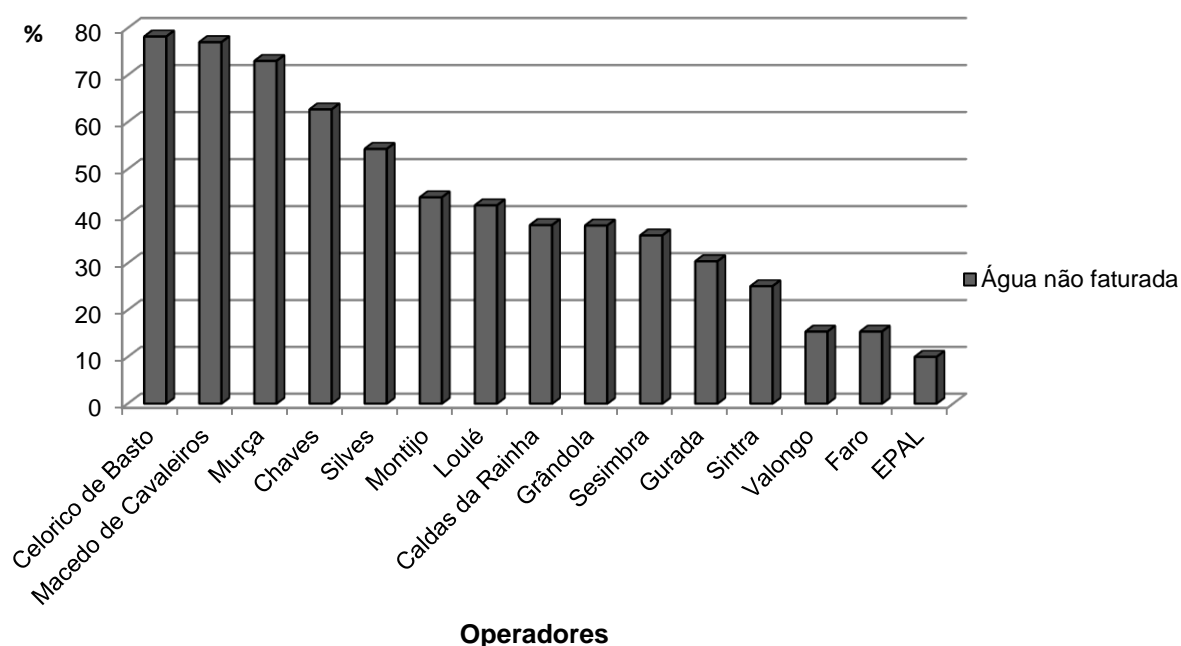
A água não faturada em Portugal representa mais de 30% da água total que dá entrada no sistema, representando cerca de 170 milhões de euros, revela a entidade reguladora (ERSAR, 2011).



Fig. 2.26 – Desperdício de água (COTRIM, A., 2014)

Esta situação mostra bem a necessidade de se investir no aumento de eficiência e na manutenção dos sistemas existentes com consequente redução de perdas. A nível internacional, aceitam-se valores de água não faturada na ordem dos 15% do total distribuído e se a média nacional de água não faturada se situa nos 30% indica a existência de operadores com valores perfeitamente aceitáveis, a rondar os 10% ou até menos, mas haverá outros muito próximos dos 70% ou até mais, o que já não é aceitável.

Os casos mais gravosos de água não cobrada e consequente perda de receita, surgem nas áreas rurais, com relevância para a região Norte, enquanto os melhores desempenhos se localizam nas áreas urbanas do Centro e de Lisboa e Vale do Tejo, dependendo ainda de se tratar de distribuição em alta (da captação ao reservatório) ou em baixa (do reservatório ao local de consumo). As percentagens de água não faturada para os casos mais extremos encontram-se ilustradas no Gráfico 2.1.



Graf. 2.1 – Percentagem de água não faturada nos vários municípios (ERSAR, 2013)

Entre as percentagens mais elevadas de água distribuída e não faturada encontram-se os casos das câmaras municipais de Celorico de Basto (78,2%), Macedo de Cavaleiros (77%) e Murça (73%).

Em Chaves, a água não cobrada está nos 62,7%, Silves tem 54,3%, Montijo 44% (Serviços Municipalizados, SMAS), Loulé 41,3%, Caldas da Rainha 38,1%, Grândola 38%, Sesimbra 35,9%, Guarda (SMAS) 30,4% e Sintra (SMAS) 25,1%.

No extremo oposto, a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL) regista não faturação somente em 10% do total distribuído, as Águas de Valongo, em 15,4%, e em Faro, através da Faro, Gestão de Águas e Resíduos (Fagar), os mesmos 15,4%.

Em Portugal Continental, dos cerca de 850 milhões de metros cúbicos de água captada, tratada, transportada, armazenada e distribuída, cerca de 300 milhões não chegam a ser vendidos aos utilizadores.

As razões prendem-se com perdas físicas e não físicas, ou seja, ruturas ou fissuras nas condutas, imprecisões nas medições ou furto de água, e com perdas comerciais, relacionadas com fornecimentos autorizados, mas não cobrados para lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes e fontanários, lavagem de condutas e coletores de esgoto ou para combate a incêndios. São situações que devem ser monitorizadas, mas é preciso acompanhar as razões que levam às perdas físicas, através da avaliação das roturas que existem no sistema.

Segundo a ERSAR toda a água consumida deve ser faturada até porque ao não faturar a consumidores municipais, na prática deverá faturar-se um pouco mais aos restantes consumidores. (BAPTISTA, J.M., 2013)

2.3.2. DEFINIÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA

Por definição as perdas de água são o volume de água correspondente à diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado. Numa primeira impressão, sem qualquer tipo de estudo, caracterizam-se as perdas como algo puramente físico. No entanto, mesmo depois da água ser entregue ao consumidor, por alguma ineficiência, pode não ser faturada, estando intrínsecos todos os custos de produção e transporte sem a obtenção de qualquer receita. Assim sendo, dividem-se em perdas reais (físicas), perdas de água até ao contador do consumidor, e perdas aparentes (não físicas), perdas de água devidas a erros de medição ou violação por parte do consumidor.



Fig. 2.27 – Perdas de água

2.3.2.1. Perdas aparentes e Fatores que as influenciam

Quando se fala de perdas de água, inconscientemente associa-se a perdas físicas, fugas de água em condutas e/ou reservatórios, no entanto há um tipo de perdas associado a erros dos contadores aquando da medição e usos ilícitos ou simplesmente furtos. As perdas aparentes representam uma fatia elevada da água não faturada e não são de fácil deteção exigindo um controlo rigoroso por parte da entidade gestora.

As perdas aparentes, relativas a consumos não autorizados e a erros de medição, podem dever-se às mais variadas causas.

Inserem-se no consumo não autorizado as ligações ilícitas e a utilização fraudulenta de marcos e bocas de incêndio, localizadas quer em locais públicos quer particulares. O uso fraudulento de bocas de incêndio é um problema que urge ser resolvido. Há locais onde é frequente encher tanques de veículos para rega de espaços e lavagem de ruas impróprios nos marcos de incêndio que à partida deveriam ser utilizados exclusivamente pelos serviços de bombeiros. É da responsabilidade e interesse da EG a monitorização e supervisão destes equipamentos, com vista ao não uso ilícito. No caso de não se encontrarem registados os locais de instalação destes equipamentos, é de bom modo fazê-lo, de forma a efetuar uma supervisão mais eficiente. O uso fraudulento de hidrantes não passa somente pela má utilização de bocas de rega e incêndio e marcos de água. Também podem ocorrer em sistemas de defesa contra incêndio instalados no interior do edifício, pois estes não dispõem de contador, com o propósito de se evitarem perdas de carga localizadas. Cabe à EG definir procedimentos para minorar a probabilidade destas ocorrências, quer ao nível dos equipamentos e soluções construtivas autorizadas quer ao nível dos sistemas de deteção de fraudes.

Apesar do consumo não faturado e não medido não se inserir nas perdas aparentes no Balanço Hídrico, também se trata de fraudes do mesmo tipo das identificadas anteriormente. A diferença é que neste caso se trata de consumos autorizadas, contudo, por vezes, utilizado para fins impróprios.

As perdas aparentes relativas a erros de medição contemplam:

- **Erros de medição dos contadores em condições normais de medição**

Tal como qualquer outro instrumento de medição, os valores indicados por um contador surgem sempre afetados por um determinado erro. Contudo, um contador deve ter a capacidade de funcionar corretamente desde o menor caudal que ele é capaz de medir até ao máximo caudal que pode suportar.

Os caudais característicos dos contadores, classificados nas normas, são definidos da seguinte forma:

Caudal de arranque: menor caudal ao qual o medidor começa e permanece em funcionamento contínuo;

Caudal mínimo, (Q_{\min}): menor caudal ao qual o contador não deve exceder os erros máximos admissíveis ($\pm 5\%$);

Caudal de transição, (Q_t): caudal ao qual os erros de medição variam de $\pm 5\%$ para $\pm 2\%$;

Caudal nominal, (Q_n): Caudal correspondente a metade do valor do caudal máximo (Q_{\max});

Caudal permanente: caudal correspondente a 75% do valor do Q_{\max} ;

Caudal máximo, (Q_{\max}): caudal máximo ao qual o contador deve poder funcionar sem deterioração, durante períodos de tempo limitados, e sem exceder erros máximos admissíveis.

Define-se ainda a **gama de medição** como sendo o intervalo entre o Q_{\min} e o Q_{\max} , que se encontra dividido em duas zonas de erro máximo admissível – zona baixa ($\pm 5\%$) e zona alta ($\pm 2\%$).

Concluindo o acabado de anunciar, o valor de erro relativo de indicação não é o mesmo para todos os caudais de funcionamento do contador. Ao se determinar o valor de erro de um contador para cada caudal e se unir por uma linha, obtém-se a **curva de erros** representada na Figura 2.28. Esta curva não apresenta configurações muito distintas para contadores do mesmo tipo e modelo, pelo que a sua forma geral se denomina por **curva de erros característica** de um determinado modelo.

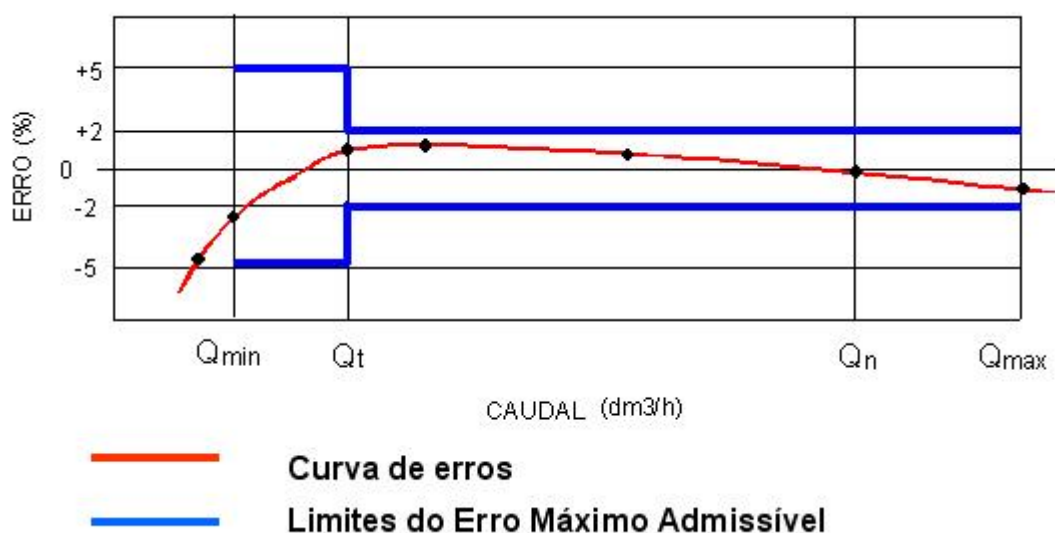


Fig. 2.28 – Curva de erros e limites do erro máximo admissível

http://www.cgf.janz.pt/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=46

- **Erros de medição por deficiente dimensionamento ou instalação**

Um dimensionamento hidráulico errado com consequente utilização de contadores com diâmetros inapropriados, afeta o erro de medição, pois no caso de se utilizarem diâmetros muito superiores ao necessário o caudal de passagem aproxima-se do Q_{\min} aumentando o erro de medição do contador, situação que pode ser prejudicial para a EG principalmente quando se trata de um médio/grande cliente. Uma instalação deficiente dos contadores também pode afetar o seu funcionamento e consequente erro de medição.

- **Erros de leitura ou registo**

Aquando da leitura dos contadores o executante responsável pode não ler bem o contador ou registrar um valor errado da leitura, situação que influencia a faturação daquele mês, mas que mais tarde poderá ser resolvida pelo reembolso, no caso de leitura ou registo superior, ou pela cobrança, no caso de leitura ou registo inferior ao valor verdadeiramente registado pelo contador.

- **Erros de medição por avaria do equipamento**

Uma avaria do contador, quer seja ela por algum defeito no processo de fabrico, quer por já ter atingido o período de vida útil e ou excesso de contagem, pode levar a elevados erros de medição. Os contadores, quando apresentam excessos de contagem ficam suscetíveis a erros de medição elevados, deixando, em muitos dos casos, de contar.

- **Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores que se encontram dentro das habitações**

Há situações em que o acesso aos contadores é dificultado pela localização deste, não se registando, portanto, as leituras. A faturação, nestes casos, é conseguida por estatísticas, podendo estar longe da realidade.

2.3.2.2. Perdas reais e fatores que as influenciam

A outra componente do Balanço Hídrico pertencente às perdas de água, para além das perdas aparentes é as perdas reais. Trata-se de perdas físicas, desde o ponto de entrega da água por parte das entidades em alta até ao contador do consumidor final. As perdas têm diferentes origens, podendo verificar-se em fugas e/ou extravasamento nos reservatórios, fugas nas adutoras, fugas na rede, fugas na ligação ou roturas de condutas. Fala-se de perdas de volumes de água significativos, que conduzem a uma elevada percentagem de água não faturada. Com isto torna-se imperativo monitorizar toda a rede recorrendo à recolha de dados através de dataloggers e utilizando um sistema de telegestão. Assim, é possível obter informação dos consumos da rede, as percentagens de cloro, a altura da água nos reservatórios, a pressão na rede e identificar com maior facilidade a existência de qualquer tipo de anomalia. A substituição de condutas envelhecidas e a utilização de acessórios de maior resistência também são boas condutas a por em prática. De referir que há casos de fugas de água a jusante do contador, verificando-se através do sistema referido anteriormente o aumento do consumo naquela zona, sendo da responsabilidade do consumidor, não sendo por isso contabilizado como uma perda de água.

Para uma melhor compreensão dos locais onde as perdas de água ocorrem com maior probabilidade, apresenta-se na figura um sistema de distribuição de água com os diferentes locais onde se registam as perdas. Aquando da gestão de um sistema de abastecimento de água deve ter-se em conta estes valores pois poderão levar a maiores índices de eficiência e eficácia.

Analisando a Figura 2.29, conclui-se que grande parte das perdas de água se dá em roturas, estando percentagens relativamente pequenas associadas a perdas nas juntas e nas válvulas. Como a maior parte das roturas é devida à existência de condutas envelhecidas, a localização destas condutas na rede tem todo o interesse para a EG de forma a identificar mais rapidamente o local onde existe maior probabilidade de ocorrência de fugas.

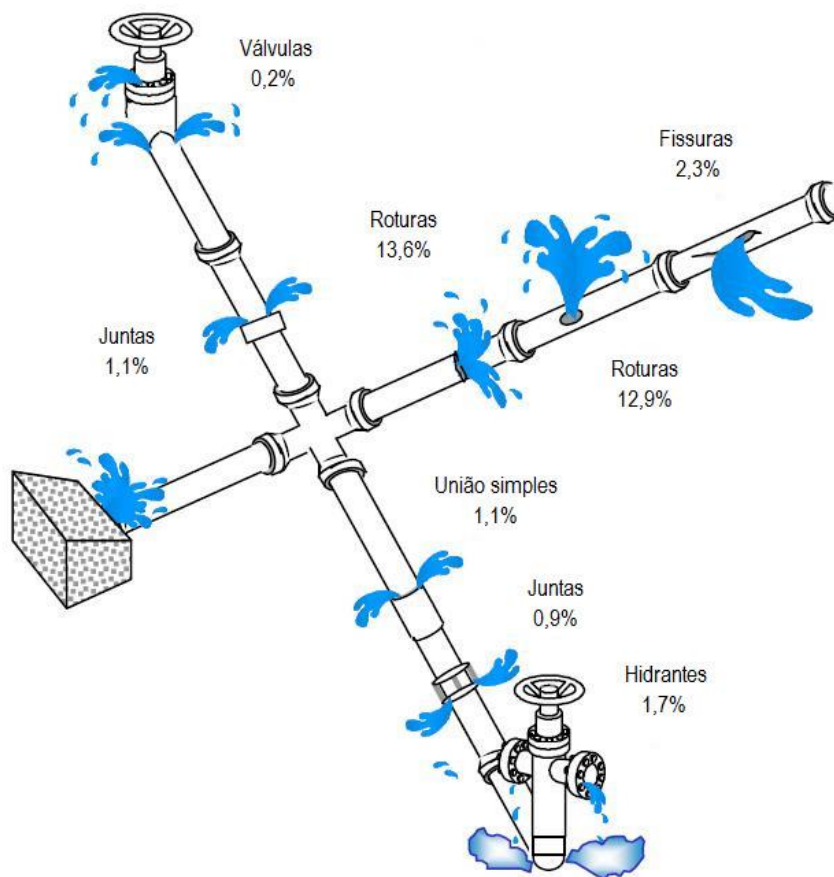


Fig. 2.29 – Perdas de água nas redes de distribuição. (DTA, 2004)

As perdas de água reais dependem de um conjunto de fatores locais que são determinantes em termos dos resultados que poderão vir a ser obtidos pela aplicação de estratégias alternativas para controle das perdas de água reais. Seguem-se os fatores que mais influenciam as perdas de água reais (ALEGRE, *et al.*, 2005):

- **Estado das condutas e outros componentes, o seu material, a frequência de fugas e de roturas**

A idade das condutas e acessórios pode estar na base de algumas perdas de água, visto que com o seu envelhecimento são mais suscetíveis a roturas com a redução da sua espessura devido à corrosão do metal. A corrosão tanto pode ser interna como externa, sendo a interna devida à acidez das águas e a externa à envolvimento de solos agressivos. A qualidade do material é um aspeto a ter em conta bem como a sua durabilidade. Também é de referir a frequência das fugas e de roturas. Relaciona-se, com alguma facilidade, a dimensão dos orifícios e o tempo de exposição a que estão sujeitos com as perdas de água. No caso de roturas de dimensões consideráveis, dão-se perdas de volumes de água elevadas,

sendo, por vezes, de fácil deteção pela população. São perdidos elevados volumes de água num curto espaço de tempo. Na Figura 2.30 apresenta-se uma estimativa do volume de perdido através de uma rotura do tipo enunciada anteriormente, num período de tempo.



Fig. 2.30 – Estimativa do tempo e do volume de água perdido através de uma rotura facilmente detetável
(FARLEY, et al., 2008)



Fig. 2.31 – Perda de água devido a rotura facilmente detetável
<http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2013/11/26/930633#imagen-1>

As roturas de dimensões reduzidas, ao contrário das anteriores, são dificilmente detetáveis visto não aflorarem à superfície. Com isto é necessário recorrer a vários equipamentos para permitirem a identificação deste tipo de roturas. Na Figura 2.32 apresenta-se a estimativa de volume perdido num dado período de tempo para este tipo de roturas.

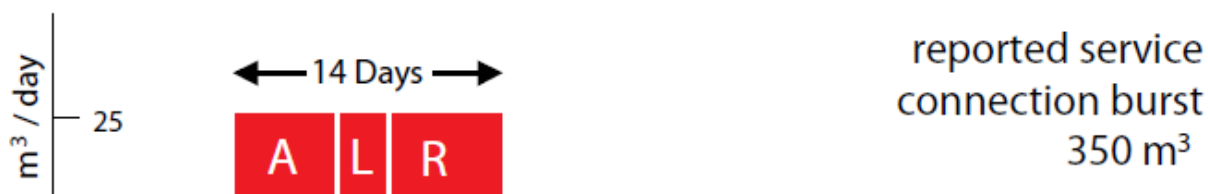


Fig. 2.32 – Estimativa do tempo e do volume de água perdido através de uma rotura dificilmente detetável (FARLEY, *et al.*, 2008)



Fig. 2.33 – Perda de água devido a rotura dificilmente detetável

https://www.google.pt/?qws_rd=ssl#q=roturas+em+condutas

Para além das perdas facilmente e dificilmente detetáveis, há outro tipo de perdas, denominadas perdas base. Estas perdas são devidas a fugas presentes nas ligações das condutas de distribuição aos ramais domiciliários e em outras ligações da rede. O baixo volume de água perdido momentaneamente dificulta a deteção destas quer à superfície, quer através de equipamentos. Denominam-se de perdas inevitáveis, estando associadas a longos períodos de subsistência, resultando num elevado volume de água ao longo do tempo. Na Figura 2.34 ilustra-se a estimativa de perda de volume de água para este tipo de perdas.



Fig. 2.34 – Estimativa do tempo e do volume de água perdido através de uma perda base (FARLEY, *et al.*, 2008)

Apresenta-se na Figura 2.35 um esquema dos três tipos de perdas enunciados anteriormente. O assinalado mais à esquerda corresponde a perdas base, perdas dadas na ligação de condutas. O caso de perdas de relativa facilidade de deteção encontra-se assinalado mais à direita, onde a água aflora à superfície. As perdas de água dificilmente detetáveis encontram-se assinaladas no centro da imagem.

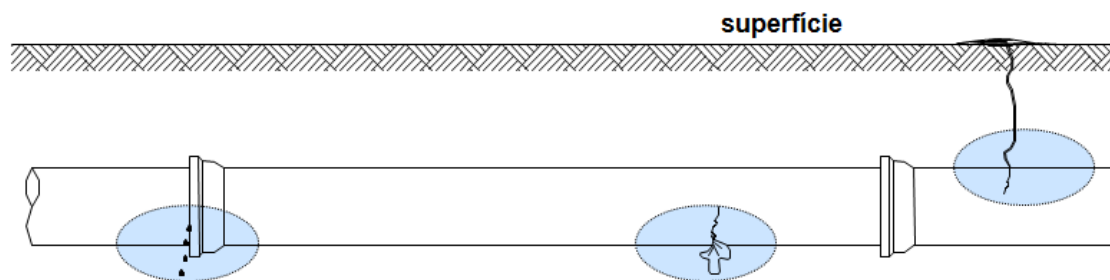


Fig. 2.35 – Tipos de perdas de água reais

- **Pressão de serviço média, quando o sistema está pressurizado**

Uma pressão elevada na rede pode levar ao aumento da taxa de perdas na junção das condutas e nas roturas, se existentes. No caso de redes antigas, com condutas envelhecidas, um aumento da pressão poderá resultar no aumento do número de roturas que ocorrem num curto espaço de tempo. Pelo contrário, uma redução da pressão pode levar a uma redução da frequência de roturas. Também é possível localizar as fugas de água pela variação da pressão uma vez que o aumento da pressão leva ao aumento do caudal de saída pelas roturas e tem efeito no ruído produzido por estas, sendo mais fácil identificar o local da fuga pelo método da auscultação.

- **Densidade e comprimento médio de ramais**

Uma maior densidade de ramais e com um maior comprimento implicam um aumento no risco de aparecimento de roturas. Assim, as redes com densidade e comprimento de ramais elevados apresentam, por norma, maiores perdas de volume de água relativamente a redes com densidades de ramais inferiores.

- **Localização do contador no ramal**

O contador no ramal pode ser colocado mais a jusante ou mais a montante do ramal, pelo que um medidor colocado mais a montante conduz a um número menor de perdas de água reais, pois as perdas de volume registadas a jusante deste são da responsabilidade do cliente, procedendo-se ao pagamento deste volume de água pois é contado pelo contador.

- **Comprimento total de condutas**

Muitas das perdas de água são registadas ao longo das condutas, logo um maior comprimento total de condutas implica um maior volume de perdas de água. Contudo, visto a necessidade de se proceder à ligação da rede por intermédio de condutas, não é possível reduzir ao comprimento destas, dependendo da extensão total da rede.

- **Tipo de solo e as condições do terreno, relevantes sobretudo no modo como se torna aparente ou não a ocorrência de roturas e fugas**

A alteração da humidade do solo, principalmente quando este é maioritariamente argila, causa retração levando à alteração de temperatura e ao abatimento de terras havendo movimentação de terras que podem causar roturas nas condutas. Também é de referir que no caso de solos arenosos as fugas podem não se revelar ao invés de solos argilosos, onde a água proveniente das fugas pode aparecer à superfície com alguma rapidez.

- **Número de reservatórios**

As perdas nos reservatórios de distribuição devem-se a roturas e/ou extravasamentos. As roturas ocorrem por fissuração das paredes e da laje do fundo, pelo que o volume de água perdido depende do tamanho das fissuras e da quantidade de água existente no reservatório. São facilmente detetáveis

através de ensaios de estanqueidade, pelo fecho de todas as válvulas de entrada e saída de caudal no reservatório, quantificando-se a variação do nível de água dentro do reservatório. Por sua vez, os extravasamentos ocorrem, de uma forma geral, em períodos noturnos, devido aos baixos consumos durante esse período, sendo facilmente detetáveis a partir de registos dos vários níveis de água recorrendo a equipamentos de medição (dataloggers).

2.4. SISTEMA DE TELEGESTÃO

Já lá vão mais de duas décadas desde a implementação do primeiro Sistema de Telegestão no setor de abastecimento de água.

Inicialmente não se exigia muito mais do que a telemedida das variáveis mais relevantes, como são exemplo o nível de água do reservatório, os níveis de cloro e os consumos. Atualmente, o Sistema de Telegestão integra a Telemanutenção e a Teleprevenção, por exemplo.

A evolução destes sistemas poderá conduzir à situação em que a decisão humana seja quase dispensável, devido ao grau de automação das diversas instalações e do desenvolvimento de algoritmos capazes de gerir e poupar de acordo com as necessidades.

Por definição, o Sistema de Telegestão de um sistema de abastecimento de água, é um conjunto de equipamentos (Hardware e Software), que integralmente concorram para a gestão, monitorização e comando dos órgãos finais de controlo do sistema, permitindo, entre outros (ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE DISTRIBUIÇÃO E DRENAGEM DE ÁGUAS, 2011):

- Visualizar em praticamente tempo real o funcionamento das instalações;
- Centralizar os comandos dos equipamentos, possibilitando a ação imediata em caso de anomalia;
- Parametrizar o funcionamento dos automatismos locais;
- Realizar estatísticas de funcionamento tendo como base os dados em arquivo histórico.

Há várias vantagens associadas à utilização deste sistema, destacando-se as seguidamente listadas (ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE DISTRIBUIÇÃO E DRENAGEM DE ÁGUAS, 2011):

- Maior fiabilidade e segurança nas operações;
- Melhor resposta às emergências;
- Redução dos custos;
- Detecção de perdas em grandes roturas ou por extravasamento de reservatórios;
- Eficiência de exploração;
- Melhor gestão dos recursos;
- Melhoria dos serviços prestados ao cliente;
- Gerar informação para planeamento e manutenção;
- Melhoria da imagem pública;
- Servir de apoio a decisões de investimento.

Para a medição das diversas grandezas existem praticamente todos os tipos de sensores. Por exemplo, para a medição da temperatura existem termopares, que convertem a temperatura no meio onde se

encontram em sinal analógico proporcional. Na medição do caudal existem, entre outros, medidores de caudal eletromagnético, que geram um sinal dependente da velocidade de escoamento. Para a medição da pressão e dos níveis de água existem sensores de pressão e hidrostáticos, respetivamente.

Apresenta-se de seguida, na Figura 2.36, um exemplo deste tipo de sistema implementado na Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA.

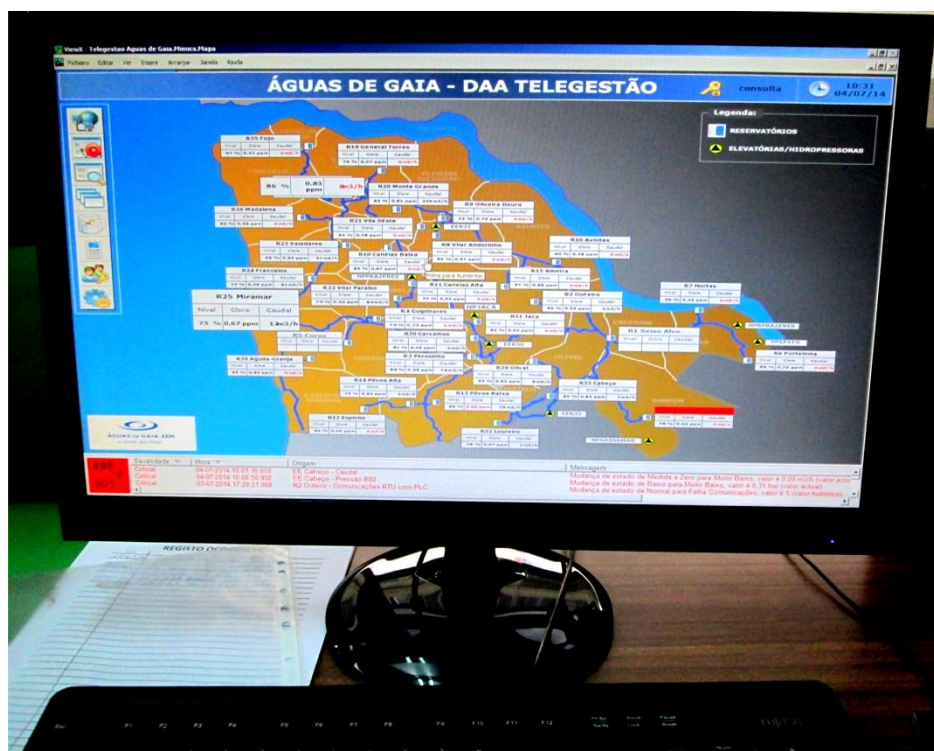


Fig. 2.36 – Sistema de Telegestão (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

2.5. DIMENSÕES DO PROBLEMA

2.5.1. DIMENSÃO ECONÓMICO-FINANCEIRA

As perdas de água correspondem a água que não é faturada nem utilizada para outros usos autorizados, mas que é captada, tratada, transportada em infraestruturas de elevado valor patrimonial e com custos de operação e manutenção significativos. A dimensão económico-financeira das perdas de água é assim de grande relevância e constitui a principal motivação das EG que levam a cabo iniciativas no domínio do controlo ativo de perdas. Contudo nem sempre se dispõe de dados fiáveis sobre o volume anual de água entrado no sistema e por vezes é desconhecido com exatidão o volume de água fornecido aos consumidores.

Hoje em dia a situação está a alterar-se. Como os custos de tratamento da água e de transporte e distribuição em boas condições são elevados, a racionalização dos gastos passa inevitavelmente pelo controlo das perdas. A partir do momento em que grande parte das EG de sistemas de distribuição passaram a adquirir a água a entidades produtoras, verifica-se um ganho acrescido da importância económica das perdas (ALEGRE, *et al.*, 2005).

2.5.2. DIMENSÃO TÉCNICA

A avaliação das perdas reais constitui uma forma privilegiada de identificar as situações mais graves a carecer de intervenção. Ao nível técnico é possível intervir em duas vertentes principais (ALEGRE, *et al.*, 2005):

- Em termos físicos, através de reparações pontuais ou reabilitação dos sistemas ou parte destes;
- Em termos de operação, minimizando a probabilidade de ocorrência de contaminações exteriores e gerindo as pressões para que estas não sejam mais elevadas do que o necessário a prestação de um bom serviço aos consumidores.

Nos casos de estudo portugueses relativos a redes estabilizadas em termos de idade, como é possível verificar na Figura 2.37, a taxa de roturas apresenta valores 500 a 1000% superiores à média europeia ou norte-americana. Nas redes mais jovens seria de esperar que as taxas de roturas fossem significativamente inferiores à média europeia e à média norte-americana, no entanto verifica-se que os valores são da mesma ordem de grandeza, ou superiores, o que indica uma situação igualmente preocupante. Estes valores ilustram bem a importância da dimensão técnica das perdas de água em Portugal.

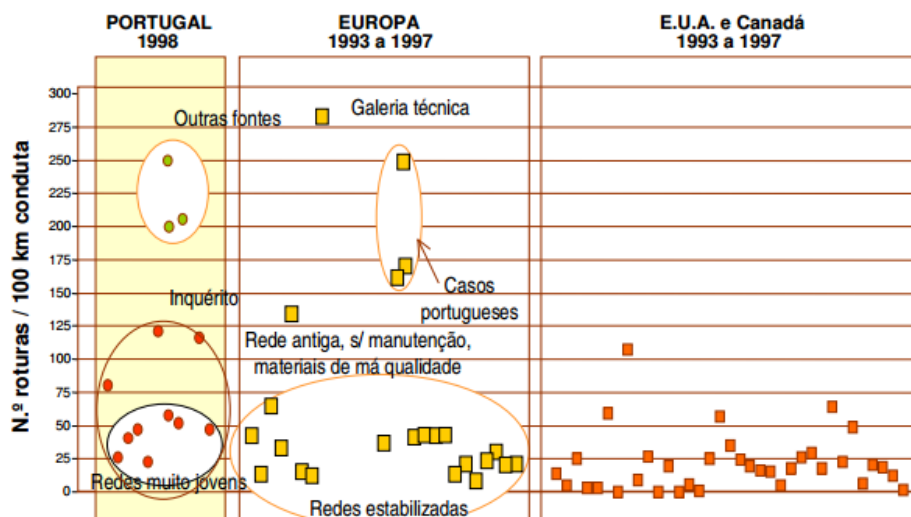


Fig. 2.37 – Roturas em condutas em Portugal, na Europa e na América do Norte (ALEGRE, *et al.*, 2005)

2.5.3. DIMENSÃO AMBIENTAL

A dimensão ambiental das perdas, com maior relevância em zonas onde existe escassez da qualidade de água para consumo humano, tornou-se mais clara com a entrada em vigor da Diretiva Quadro da Água. De facto, esta Diretiva impossibilita o reforço de captações existentes ou a construção de novas captações caso se verifiquem elevadas perdas de água a jusante destas. Com isto, é do interesse da EG ter a clara noção das perdas de água por fugas e extravasamentos.

2.5.4. DIMENSÃO DE SAÚDE PÚBLICA

As fugas ocorrem quando se verifica uma falta de estanqueidade do sistema. Assim, os locais onde existem fugas são potenciais fontes de contaminação da água, especialmente quando é necessário interromper o sistema, pois a pressão interna, neste caso, é inferior à externa e a probabilidade de

contaminação aumenta substancialmente, principalmente em sistemas menos estanques. Com isto, mesmo que o valor económico da água perdida não compense o investimento necessário para as reduzir, a dimensão de saúde pública não pode deixar de ser considerada.

2.5.5. DIMENSÃO SOCIAL

As exigências de qualidade de água fornecida ao consumidor acarretam custos que serão refletidos nas tarifas. Muito dificilmente uma EG conseguirá proceder a uma distribuição de água com a qualidade exigida sem que para tal aumente as tarifas. O aumento de preços de venda de água aumentará em muitos municípios portugueses, o que fará crescer a dimensão social das perdas de água.

2.5.6. OUTROS EFEITOS DAS PERDAS DE ÁGUA

Segundo Farley (2001), é de realçar os seguintes efeitos:

- **Danos causados nas vias de comunicação, em esgotos e outros serviços públicos devido a assentamentos e vazios:** Embora os programas de controlo de perdas não possam evitar as catástrofes que ocorrem ao longo do tempo e que causam danos consideráveis nas vias de comunicação e nos esgotos, existe um nível de perdas que pode causar danos semelhantes ao longo de um período de tempo, tais como perdas nas juntas e acessórios e alimentação deficiente. Estas perdas podem permanecer indetetáveis por períodos consideráveis, até que levem ao desmoronamento de, por exemplo, uma estrada ou caminho. Uma política de controlo de perdas permite proceder a reparações rapidamente, evitando os danos e controlando as perdas eficazmente;
- **Efeitos sobre os consumidores:** O efeito mais comum das perdas ligado ao bem-estar do consumidor diz respeito à falha do abastecimento, quando a pressão se torna excessivamente baixa. Geralmente através das queixas do consumidor é possível obter a indicação da existência de fugas nos sistemas de abastecimento. A pressão em algumas partes do sistema pode ser reduzida ou completamente perdida (extremidades ou pontos altos). Os autoclismos podem demorar mais tempo a encher, e os chuveiros, máquinas de lavar roupa, e outros aparelhos domésticos alimentados diretamente a partir do sistema de abastecimento podem não funcionar levando, obviamente, à insatisfação do consumidor.
- **Perdas financeiras:** Para além das implicações financeiras de reparação de danos das infraestruturas, bem como de pagamentos de indemnizações, existem custos diretos associados às perdas. Através do controlo de perdas torna-se possível alcançar uma solução que leva à economia.

2.6. BALANÇO HÍDRICO

Dada a proliferação e ambiguidade da terminologia utilizada por entidades diversas, internacionalmente ou até dentro do mesmo país, qualquer análise relativa a perdas de água deverá ser precedida de uma definição clara das componentes do balanço hídrico a considerar, bem como dos dados em que se baseia a sua determinação. O Quadro 2.4 ilustra a terminologia recomendada para o cálculo do Balanço Hídrico em um ou mais subsistemas de abastecimento de água. Se existirem dados para o cálculo do Balanço Hídrico em qualquer outro formato ou com outra terminologia, deverão ser

convertidos nas componentes do quadro, em volume por ano, antes de se calcular qualquer indicador de desempenho.

Quadro 2.4 – Balanço Hídrico

Volume entrado no sistema [m ³ /ano] A3	Consumo Autorizado [m ³ /ano] A14	Consumo Autorizado, Faturado [m ³ /ano] A10	Faturado, Medido [m ³ /ano] A8	Água Faturada [m ³ /ano] A20
			Faturado, Não-Medido [m ³ /ano] A9	
	Perdas de água [m ³ /ano] A15	Consumo Autorizado, Não Faturado [m ³ /ano] A13	Não Faturado, Medido [m ³ /ano] A11	Água Não Faturada [m ³ /ano] A21
			Não Faturado, Não Medido [m ³ /ano] A12	
		Perdas Aparentes [m ³ /ano] A18	Consumo Não Autorizado [m ³ /ano] A16	
			Erros de Medição [m ³ /ano] A17	
			Fugas nos Reservatórios/Adutoras [m ³ /ano]	
		Perdas Reais [m ³ /ano] A19	Fugas e Ruturas na Rede [m ³ /ano]	
			Fugas nas Ligações [m ³ /ano]	

Volume entrado no sistema: volume anual introduzido na parte do sistema de abastecimento de água que é objeto do cálculo do Balanço Hídrico. O volume de água entrada no sistema deve incluir a água captada e toda a água importada, bruta e tratada.

Consumo autorizado: volume anual de água, medido ou não medido, faturado ou não, fornecido a consumidores registados, a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais ou industriais e à própria EG;

Perdas de água: volume de água correspondente à diferença entre o volume entrado no sistema e o consumo autorizado. As perdas de água podem ser calculadas para todo o sistema ou para subsistemas, como sejam a rede de água não tratada, o sistema de adução, o sistema de distribuição ou zonas do sistema de distribuição. Em cada caso as componentes do cálculo devem ser consideradas em conformidade com a situação.

Consumo Autorizado, Faturado: consumo total autorizado que foi faturado durante o período de referência. Trata-se do consumo responsável pela geração de receita por parte da EG.

Consumo Autorizado, Não Faturado: consumo total autorização que foi medido mas não faturado (incluindo a água exportada) durante o período de referência. Não gera receita para a EG apesar de utilização legítima de água nos SAA.

Perdas aparentes: esta parcela das perdas contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não autorizado.

Perdas reais: volume de água correspondente às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. O volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga. Apesar das perdas físicas localizadas a jusante do contador do cliente se encontrarem excluídas do cálculo deste tipo de perdas, são muitas vezes significativas e relevantes para a EG (em particular quando não há medição).

Consumo Autorizado, Faturado, Medido: consumo total autorizado que é medido e faturado durante o período de referência. Resulta da soma das leituras dos contadores dos clientes. Como, em geral, as datas das leituras não coincidem com o período exato da avaliação, serão necessárias interpolações para obter a melhor estimativa possível do valor verdadeiro.

Consumo Autorizado, Faturado, Não-Medido: consumo total autorizado que não é medido e que é faturado durante o período de referência. Este dado é a melhor estimativa disponível, baseada em inquéritos ou quaisquer outras formas de avaliação a que a EG possa recorrer.

Consumo Autorizado, Não Faturado, Medido: consumo total autorizado que foi medido mas não faturado durante o período de referência. Pode incluir consumos para combate a incêndios e formação de bombeiros, lavagem de condutas e de coletores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontanários públicos, entre outros.

Consumo Autorizado, Não Faturado, Não-Medido: consumo total autorizado que não foi medido nem faturado durante o período de referência. Este dado é a melhor estimativa disponível, baseada em inquéritos ou quaisquer outras formas de avaliação a que a EG possa recorrer. Pode incluir todo o tipo de ações consideradas no consumo Autorizado, Não Faturado, Medido.

Consumo Não Autorizado: consumo total não autorizado durante o período de referência, incluindo furto, sendo estes ligações diretas estabelecidas na rede, violação de contadores, entre outros. Este dado é a melhor estimativa disponível, baseada em inquéritos ou quaisquer outras formas de avaliação a que a EG possa recorrer.

Erros de Medição: volume de água associado a qualquer erro de medição provenientes do desgaste de contadores, deficiências destes, erros de leitura, entre outros. Este dado resulta da melhor estimativa possível, baseada principalmente em dados resultantes da calibração dos contadores e/ou inspeções realizadas para esse objetivo.

Fugas nos Reservatórios/Adutoras: volume de água perdido por fugas e extravasamentos em reservatórios de água.

Fugas e Ruturas na rede: volume de água perdido por fugas existentes nas condutas. Podem ser de grandes ou pequenas dimensões, sendo que nas primeiras há perdas de volume de água significativas e de fácil detecção, e nas segundas há perdas de águas elevadas mas de difícil detecção. O volume de água perdido depende da dimensão da rutura, da pressão existente na rede e do tempo de exposição desta.

Fugas nas Ligações: volume de água perdido nas ligações dos ramais domiciliários às condutas de distribuição. Devido ao fato de os caudais escoados nos ramais domiciliários serem inferiores aos das condutas de distribuição, estas fugas tornam-se de difícil detecção, pelo que perduram durante muito tempo levando a perdas de água bastante significativas.

Água Faturada (AF): volume de água responsável pela geração de receita da EG. Assume o mesmo valor que o Consumo Autorizado Faturado.

Água Não Faturada (ANF): volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais do Volume de água entrado no sistema e o Consumo Autorizado Faturado. A Água Não Faturada inclui não só as Perdas Reais e Aparentes, mas também o Consumo Autorizado Não Faturado. Corresponde a todo o volume de água que não gera receita para a EG, procurando-se a sua redução. A Figura 2.38 ilustra isto mesmo, a procura da redução da água não faturada por aumento da água faturada, sendo também necessário um menor volume de água a dar entrada no sistema pela redução das perdas de água.

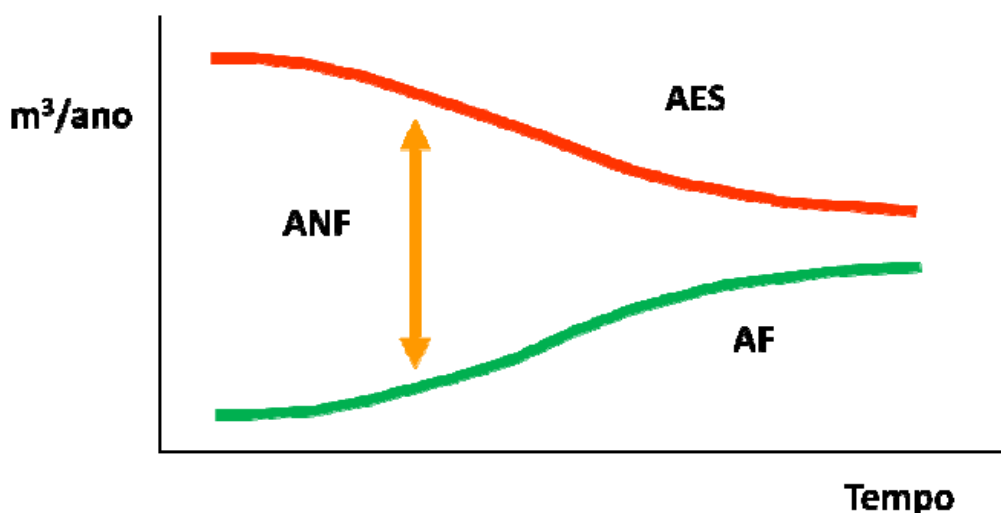


Fig. 2.38 – Relação da água não faturada e da água faturada (MARTINS, J.P., 2014)

O Balanço Hídrico serve de base para o cálculo da ANF e das Perdas de Água. Recomenda-se a passagem pelos seguintes passos por forma a proceder ao seu cálculo (ALEGRE, *et al.*, 2005):

Passo 1 – Definir os limites exatos do sistema a auditar bem como as datas de referência, sendo o recomendado um período de um ano.

Passo 2 – Determinar o volume de água entrada no sistema.

Passo 3 – Determinar o Consumo Faturado Medido e o Não Medido (por estimativa), resultando o Consumo Autorizado Faturado e a Água Faturada.

Passo 4 – Calcular o volume de Água Não Faturada subtraindo a Água Faturada ao volume entrado no sistema.

Passo 5 – Definir o Consumo Não Faturado, Medido e o Consumo Não Faturado, Não Medido obtendo-se o Consumo Autorizado Faturado.

Passo 6 – A soma dos valores obtidos no Passo 3 e Passo 5 dá origem ao Consumo Autorizado.

Passo 7 – Calcular as Perdas de Água como a diferença entre o volume entrado no sistema e o Consumo Autorizado.

Passo 8 – Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do Consumo Não Autorizado e dos Erros de Medição, somá-las e registar o resultado em Perdas Aparentes.

Passo 9 – Calcular as perdas reais subtraindo as Perdas Aparentes às Perdas de Água.

Passo 10 – Avaliar as parcelas das Perdas Reais usando os melhores métodos disponíveis (análise de caudais noturnos, dados de medição zonada, cálculos de frequência/caudal/duração das roturas, modelação de perdas baseada em dados locais sobre o nível-base de perdas), somá-las e comparar com o resultado das Perdas Reais.

O cálculo completo do Balanço Hídrico com uma exatidão razoável é particularmente difícil quando uma boa parte dos valores inseridos são obtidos por estimativa até mesmo no caso do Consumo Faturado Medido, pois a uma parte significativa dos clientes não são feitas contagens.

2.7. INDICADORES DE DESEMPENHO

O desempenho de uma EG de um sistema de abastecimento de água relativamente a uma dada atividade deve ser avaliado do modo mais objetivo possível. Para tal recorre-se a indicadores de desempenho, isto é, a medidas quantitativas de aspetos específicos dessa atividade. Desta forma, caso a maioria das entidades envolvidas utilize o mesmo tipo de indicadores é possível proceder à comparação do desempenho destas numa determinada atividade com valores de referência.

De entre o vasto número de indicadores EG entidade gestora de um sistema de abastecimento relativamente às perdas de água. Merecem especial importância os indicadores de recursos hídricos (WR1), os operacionais (Op23, Op24 e Op29) e os económico-financeiros (Fi46 e Fi47).

O **indicador WR1**, através da Equação 2.4, avalia a ineficiência na utilização dos recursos hídricos ao quantificar as perdas reais em percentagem do volume total de entrada no sistema durante o período de referência.

$$WR1 = \frac{A19}{A3} \times 100 \quad (2.4)$$

Sendo,

A3 – Água entrada no sistema [m³]

A19 – Perdas Reais [m³]

O **indicador Op23** avalia a perda de água por ramal, ou seja, as perdas de água durante o período de referência em percentagem do número de ramais (Equação 2.5).

$$Op23 = \frac{\left[\frac{A15}{H1} \times 365 \right]}{C24} \quad (2.5)$$

Sendo,

A15 – Perdas de Água [m³]

H1 – Duração do período de referência [t]

C24 – Número de ramais [-]

O **indicador Op24** presente na Equação 2.6 avalia as perdas de água por comprimento de conduta.

$$Op24 = \frac{A15}{H1} / C8 \quad (2.6)$$

Sendo,

A15 – Perdas de Água [m³]

H1 – Duração do período de referência [t]

C8 – Comprimento de condutas [Km]

O **indicador Op29** avalia o índice infraestrutural de fugas. É dado pelo quociente do indicador Op27 e perdas reais mínimas, como é possível constatar na Equação 2.7.

$$Op29 = Op27 / \left[18 \times \frac{C8}{C24} + 0,7 + 0,025 \times C25 \right] / \frac{D34}{10} \quad (2.7)$$

Sendo,

Op27 – Indicador de perdas reais por ramal [m³/ramal/dia]

C8 – Comprimento de condutas [Km]

C24 – Número de ramais [-]

C25 – Comprimento médio dos ramais [m]

D34 – Pressão média de operação [KPa]

O **indicador Fi46**, por intermédio da Equação 2.8, avalia a água não faturada em termos de volume, isto é, percentagem de água não faturada pela água entrada no sistema.

$$Fi46 = \frac{A21}{A3} \times 100 \quad (2.8)$$

Sendo,

A3 – Água entrada no sistema [m³]

A21 – Água não faturada [m³]

O **indicador Fi47** avalia a água não faturada em termos de custo, isto é, quantifica o valor de componentes de água sem proveito em percentagem dos custos correntes anuais durante o período de referência (Equação 2.9).

$$Fi47 = \frac{[A13 + A18] \times G57 + A19 \times G58}{G5} \times 100 \quad (2.9)$$

Sendo,

A13 – Consumo autorizado não faturado [m³]

A18 – Perdas Aparentes [m³]

A19 – Perdas Reais [m³]

G57 – Tarifa média para consumidores diretos [€]

G58 – Custo unitário assumido das perdas reais [€]

G5 – Custos correntes [€]

2.8. CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA

Uma das preocupações das EG responsáveis pelo abastecimento de água prende-se com o controlo das perdas verificadas no sistema, pois tratando-se de um bem precioso, é crucial reforçar as competências dos responsáveis a nível da gestão, planeamento e manutenção do sistema pretendendo-se o aumento da rentabilidade e a melhor utilização deste recurso. Contudo, para o cumprimento dos objetivos, sendo um deles a preservação da água para as gerações futuras, terá de haver um esforço quer da EG quer do consumidor visto uma parte do não aproveitamento da água estar associado à ineficiência do uso e uma outra aos sistemas de abastecimento sob a forma de perdas.

Assim, numa perspetiva da EG, é necessário implementar uma estratégia de controlo de perdas. Na definição de uma estratégia de controlo de perdas é importante avaliar a partir de que nível de perdas já não é economicamente rentável proceder à sua redução, isto é, o investimento para a redução das perdas é superior aos ganhos futuros. Importante não esquecer que não há perdas zero em sistemas de abastecimento de água.

Existem vários métodos de controlo ativo de perdas reais. A medição zonada, embora não diretamente ligada ao controlo de perdas é o ponto de partida para a aplicação de outros métodos, como a gestão de pressões e as técnicas de localização e reparação das fugas.

2.8.1. NÍVEL ECONÓMICO DE PERDAS

O nível económico de perdas (NEP) define-se como a situação em que o custo marginal do controlo ativo de perdas equilibra o custo marginal da água perdida (Figura 2.39), isto é, situação em que o custo de redução de perdas em uma unidade de volume é igual ao custo de produção dessa unidade de volume de água.

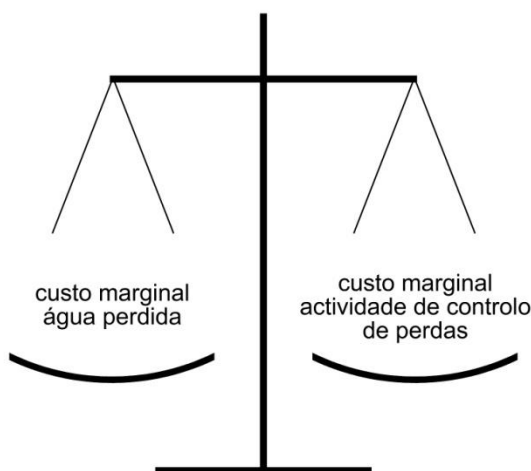
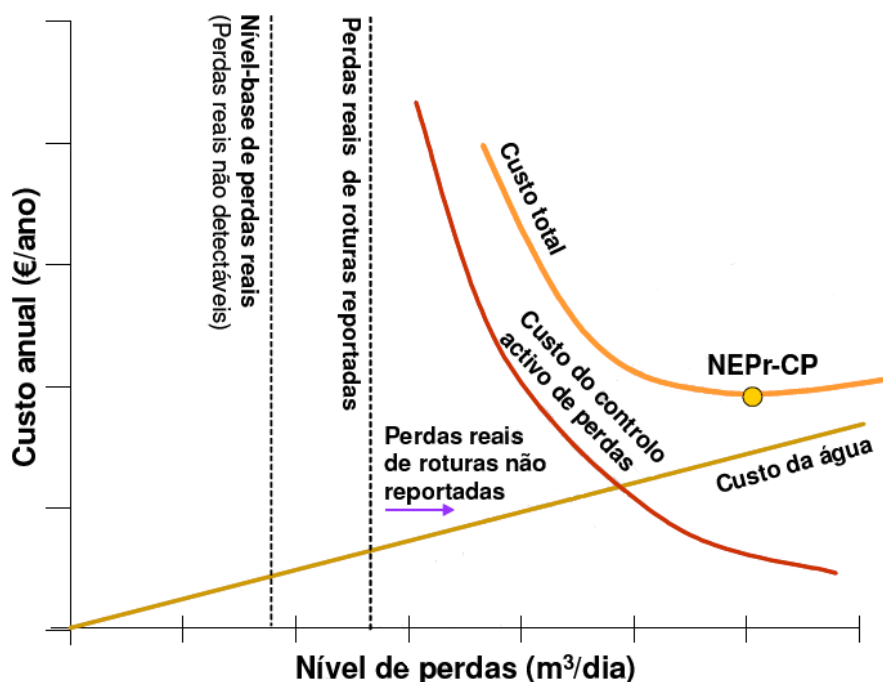


Fig. 2.39 – Nível económico de perdas (OLIVEIRA, P.S., 2014)

O custo marginal da água, determinado pelo custo associado à origem da água mais cara da rede no caso de origens múltiplas, é o custo que seria economizado reduzindo o volume de água abastecida em 1m^3 . O custo marginal do controlo ativo de perdas é o preço, para um dado nível de perdas, de reduzir o volume perdido em 1m^3 . O NEP é o ponto em que as duas curvas dos custos marginais apresentam declives simétricos. O atingir deste nível resulta na mais baixa combinação possível entre o custo das ações de controlo de perdas e o preço de água desperdiçada.

No Gráfico 2.2 observa-se que, com o aumento das perdas reais, o custo total da água perdida aumenta, e os custos relacionados com o controlo ativo de perdas diminui, uma vez que o esforço necessário para manter níveis de perdas elevados é reduzido. Também é possível constatar o aumento exponencial do custo do controlo ativo de perdas com a redução do nível de perdas. O NEP corresponde ao mínimo da curva de custo global, obtida a partir da soma entre o custo com o controlo ativo de perdas e o custo da água perdida. Aplica-se tanto às perdas reais como às aparentes, sendo que qualquer nível diferente do NEP terá custos totais mais elevados (ALEGRE, *et al.*, 2005).



Graf. 2.2 – Nível económico de perdas (ALEGRE, *et al.*, 2005)

Relativamente às perdas reais, é importante avaliar o nível económico de perdas reais (NEPr). Os principais fatores locais que afetam este nível são:

- Custo de mão-de-obra;
- Custo da água;
- Pressão de serviço;
- Idade e estado de conservação das tubagens;
- Tipologia das roturas;
- Método utilizado para o controlo das fugas.

O valor do NEPr varia de rede para rede, ao longo do tempo, da pressão de serviço, das técnicas de deteção e reparação de fugas, entre outros.

As estratégias a adotar em caso de necessidade de redução das perdas reais, bem como os parâmetros relacionados com o NEPr encontram-se indicadas na Figura 2.40.

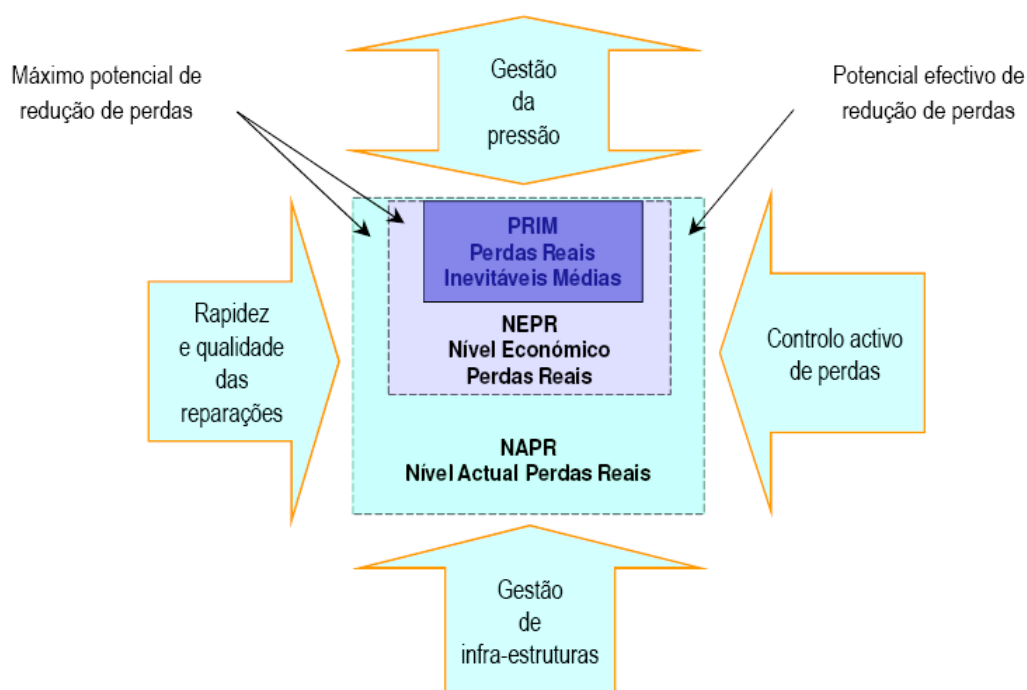


Fig. 2.40 – Nível económico de perdas reais (NEPr) (THORNTON, *et al.*, 2008)

Há situações em que apesar de se apresentar um nível de perdas muito elevado, 70% ou até superior, não há interesse em o reduzir, pois os custos associados não compensam a posterior faturação. Fala-se de sistemas antigos, abastecidos por gravidade, sem custos de captação, com abundância de água própria para consumo. Mesmo a registarem-se percentagens de perdas na ordem dos valores referidos anteriormente, a substituição e/ou reparação das condutas, que por vezes apresentam roturas com dimensões significativas devido ao mau estado de conservação, não são compensatórias. A principal preocupação neste tipo de situações prende-se com o fato de poderem existir infiltrações na rede que alterem as propriedades da água de tal forma que a coloquem num estado não próprio para consumo. Assim, acima de tudo é necessário executar um controlo assíduo das propriedades da água ao longo do tempo.

Por outro lado, há situações em que é possível e imperativo reduzir o nível de perdas para valores de 10% ou até inferiores. Para que se atinja o NEP que nestes casos apresentam valores na ordem de grandeza dos enunciados anteriormente, é necessário proceder a investimento de valores avultados, não estando ao alcance de todas as EG. Contudo, em caso de possibilidade, o atingir destes níveis é recompensado, conseguindo anular-se o valor do investimento a médio/longo prazo. Quanto maior o conhecimento da rede, tanto a nível de infraestruturas como de consumos padrão, mais rapidamente se atingirá o nível desejado de perdas, pois sabe-se, à partida, onde e como se deve atuar.

Estas duas situações são a prova de que o NEP depende, e muito, de rede para rede, não existindo um único valor que sirva de base para todos os sistemas de abastecimento de água existentes.

2.8.2. ZONAS DE MEDIÇÃO E CONTROLO

A expansão dos sistemas de distribuição de água e a elevada degradação das suas infraestruturas são problemas inteiramente relacionados com a ineficiência das EG. Opta-se, na maior parte das situações,

pela execução de pequenas reparações na rede, quer pela existência de orçamento disponível para tal, ou simplesmente pela ocorrência de alguma anomalia. Contudo, os custos associados às reparações bem como à localização das roturas/fugas podem assumir valores significativos. Surge, assim, a necessidade de dividir e setorizar a rede de abastecimento, com visto à máxima rentabilização do investimento efetuado, ao menor custo por parte da EG e à satisfação por parte dos utilizadores. Contudo, o investimento a realizar pode não estar ao alcance das EG responsáveis por redes de abastecimento de água mais pequenas.

A medição zonada é uma técnica utilizada para o controlo de caudais e consequente apoio no controlo das perdas. Consiste na divisão da rede em zonas discretas, com limites rigorosamente identificados, cujas entradas e saídas de água são controladas de forma a obter-se informação detalhada acerca do balanço de caudais e o comportamento dos consumos. Estas subdivisões denominam-se zonas de medição e controlo, ou abreviadamente ZMC (ALEGRE, *et al.*, 2005).

2.8.3. MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS

A quantificação das perdas em redes de distribuição poderá ser conseguida através do método dos caudais totais e do caudal noturno. No caso do método dos caudais totais há a contabilização volumétrica do balanço hídrico dentro de cada zona de medição através de volumes medidos durante um intervalo de tempo. O volume de perdas de água no período é dado pelas diferenças de volumes de água afluente e todos os volumes de água saídos e conhecidos, incluindo uma estimativa do consumo. Em relação ao método dos caudais noturnos, observa-se o comportamento do caudal nas horas de menor consumo, tipicamente durante a noite, a partir do qual se conclui que uma parte significativa deste, principalmente quando apresenta valores elevados não justificados pelo consumo, se trata de perdas reais de água. Também permite concluir, caso se detete um aumento súbito do caudal, a possível existência de uma nova fuga. Ambos os métodos são importantes e complementares, o primeiro para identificar prioridades de intervenção entre ZMC e o segundo mais adequado no âmbito da monitorização contínua ou de curta duração.

A quantificação das perdas não é uma tarefa fácil pois envolve cálculos complexos, não sendo medidas diretamente. O Balanço Hídrico permite ter consciência do valor global das perdas, no entanto, ao se pretender fazer um estudo mais detalhado é preferível recorrer aos métodos anteriormente referidos. A Figura 2.41 resume os métodos a utilizar pelas EG para a gestão das perdas de água.

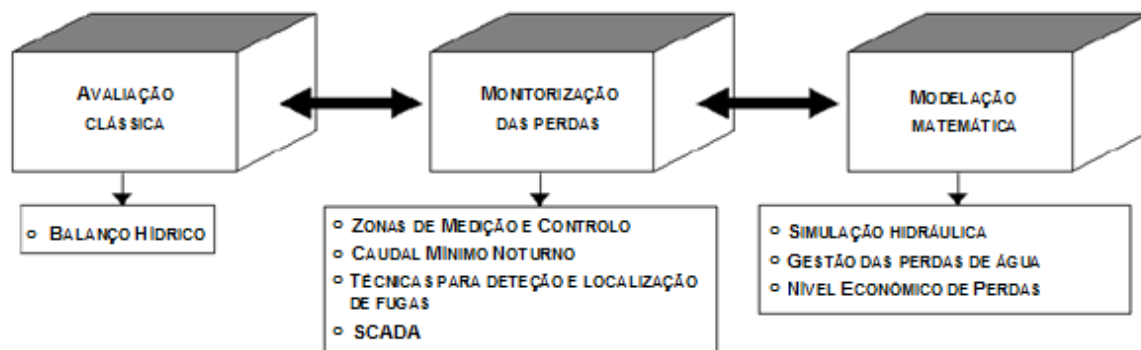
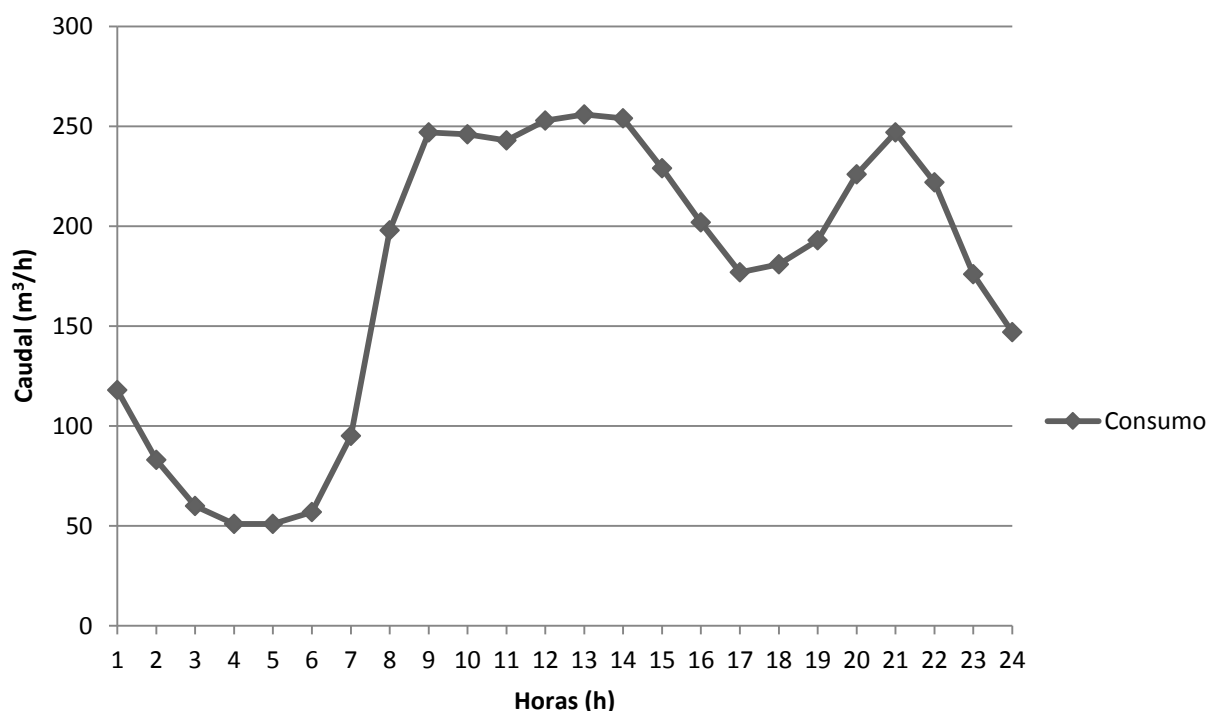


Fig. 2.41 – Métodos para gestão das perdas de água. (HAVLIK, 2006)

Será vantajoso ter o conhecimento do comportamento habitual do consumo ao longo de um dia. Por exemplo, o consumo ao longo de um dia, numa zona predominantemente residencial, pode ter o comportamento idêntico ao do Gráfico 2.3.



Graf. 2.3 – Comportamento típico de consumo, predominantemente residencial, ao longo de um dia (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

A análise dos consumos ao longo de um dia e durante um certo período de tempo permite a compreensão da tipologia dos consumos e a identificação de anomalias, principalmente nas horas de menor consumo. A partir da interpretação do caudal mínimo noturno (CMN) é possível estabelecer um critério para estimativa das várias componentes da perdas, visto durante a noite, grande parte dos consumidores não se encontrarem ativos, sendo neste período atingido o mínimo caudal, como é possível constatar pela observação do gráfico 2.3. Contudo, e apesar de se atingir o caudal mínimo neste período, verifica-se a existência de um caudal demasiado elevado como consequência de possíveis fugas, ligações ilícitas ou simplesmente indústrias em atividade na zona.

A percentagem do CMN varia de sistema para sistema em função do tipo de ocupação (residencial, comercial, serviços públicos, industrial), da dimensão do sistema, do número de clientes, do nível socioeconómico e do estado de conservação das infraestruturas. Durante o período de CMN as variações de consumo não são muito significativas, podendo existir algumas oscilações devido à sazonalidade, atividades comerciais, industriais e de serviços públicos. A estimativa da população ativa, população que consome água durante o período noturno, pode ser dificultada pela existência de reservatórios prediais. A identificação deste tipo de situações é possível através da análise de casos em que o fornecimento de água não é contínuo, principalmente quando o enchimento dos reservatórios se realiza nestes períodos para fazer face aos consumos diários. Ainda assim, um aumento significativo do volume de água à saída do reservatório poderá ser sinónimo de ligações clandestinas ou roturas, pelo que deverão ser localizadas e reparadas o mais rapidamente possível. Uma vez estimado o

consumo e reparadas as roturas, é possível fazer uma estimativa do volume total de perdas, pela diferença do volume total de água que entra no sistema e o volume total de consumo autorizado. As componentes do CMN podem ser consultadas no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Componentes do CMN (WRc, 1994)

Caudal mínimo noturno [m ³ /h]	Caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega [m ³ /h]	Consumo medido e/ou estimado [m ³ /h]	Grandes consumos não domésticos [m ³ /h]
			Pequenos consumos não domésticos [m ³ /h]
			Consumos domésticos [m ³ /h]
	Perdas a montante do ponto de entrega [m ³ /h]	Perdas no ramal de ligação a jusante do ponto de entrega [m ³ /h]	Perdas reais [m ³ /h]
		Perdas no ramal de ligação a montante do ponto de entrega [m ³ /h]	
		Perdas na rede de distribuição [m ³ /h]	
		Serviço de manutenção, lavagem de filtros e limpeza de reservatórios [m ³ /h]	

Caudal mínimo noturno: caudal à entrada do sistema durante o período de menor consumo;

Caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega: Caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega durante o período de menor consumo;

Perdas a montante do ponto de entrega: Diferença entre o caudal mínimo noturno e o caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega (correspondente às perdas no ramal de ligação a montante do ponto de entrega e às perdas na rede de distribuição, armazenamento, adução e tratamento);

Consumo medido e/ou estimado: Soma do consumo autorizado, medido e/ou estimado, ao nível do ponto de entrega (grandes consumos não domésticos, pequenos consumos não domésticos e consumos domésticos);

Perdas reais: Diferença entre o caudal mínimo noturno e o consumo medido e/ou estimado (perdas de água a montante e a jusante do ponto de entrega);

Perdas no ramal de ligação a jusante do ponto de entrega: Diferença entre o caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega e o consumo medido e/ou estimado (perdas de água na rede predial, a jusante do contador).

Tendo em conta o consumo e as perdas de água durante o período noturno, é possível extrapolar estes valores para as restantes horas do dia, em função da pressão nos dois períodos. Contudo, há consumos

não dependentes da pressão, como são exemplo, o enchimento de autoclismos, reservatórios prediais, máquinas de lavar, ao contrário dos lavatórios, chuveiros, regas, que são dependentes da pressão. Assim, um aumento da pressão fará aumentar o consumo, e em caso de fugas a jusante dos contadores, também provocará o aumento das perdas.

2.8.4. MODELAÇÃO HIDRÁULICA

A modelação hidráulica representa um conjunto de *Software* capaz de prever o comportamento hidráulico e parâmetros de qualidade da água. A existência de sistemas bem calibrados é grandemente facilitada pela disponibilização de dados setoriais de consumo, só possível na presença de um sistema bem setorizado e dispondo de medição zonada. O processo de divisão em ZMC deverá ser apoiado pela simulação com vista à maximização da eficácia do sistema de medição zonada. Antes de qualquer divisão, o modelo de simulação já deverá estar desenvolvido e calibrado. Permite, entre outros (ALEGRE, *et al.*, 2005):

- Identificar as limitações e erros de configuração no sistema;
- Planear a divisão em ZMC, simulando os efeitos das alterações topológicas e operacionais nas pressões da rede, podendo modificar-se as zonas desfavoráveis, antes de se proceder à sua implementação;
- Simular a entrada de caudais nas ZMC, permitindo a seleção adequada dos pontos de medição e a escolha dos respetivos equipamentos.

Ao se dispensar a simulação hidráulica poderá estar a comprometer-se a eficácia do método e a não rentabilização do investimento realizado.

Numa fase de planeamento de um sistema de medição zonada, a utilização de modelação hidráulica permite aferir a viabilidade de instalar as ZMC definidas preliminarmente através da identificação das condutas nas quais a interrupção em aceitável e o transporte de caudal é suficientemente importante para justificar a inclusão na monitorização. Também numa fase mais adiantada, aquando da seleção do tipo de medidor que melhor se ajusta à gama de caudais esperada, é utilizada este tipo de ferramenta. Dá-se especial importância aos contadores reversíveis, no caso de possibilidade de inversão do sentido do escoamento.

O *Software* mais utilizado para esta tarefa é o WaterGEMS da Bentley, que consiste num programa informático onde se pode simular fugas e roturas na rede de abastecimento, o que permite determinar o volume de água perdida.

Inicialmente é inserida a rede de abastecimento de água em estudo, existente num Sistema de Informação Geográfica (SIG). A compatibilidade entre estes dois tipos de *Software* é uma mais-valia pois evita o desenho manual da rede. Normalmente, apenas é desenhada a rede de abastecimento de água no programa quando se pretende projetar uma nova rede de abastecimento ou quando existe alguma falta de comunicação entre os dois *Softwares*.

A rede de abastecimento da Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA, é representada na Figura 2.42, onde se encontram vários nós, válvulas de seccionamento, válvulas de descarga, ramais, condutas, reservatórios, entre outros acessórios. A ampliação da zona permite identificar com maior clareza os constituintes enunciados anteriormente.

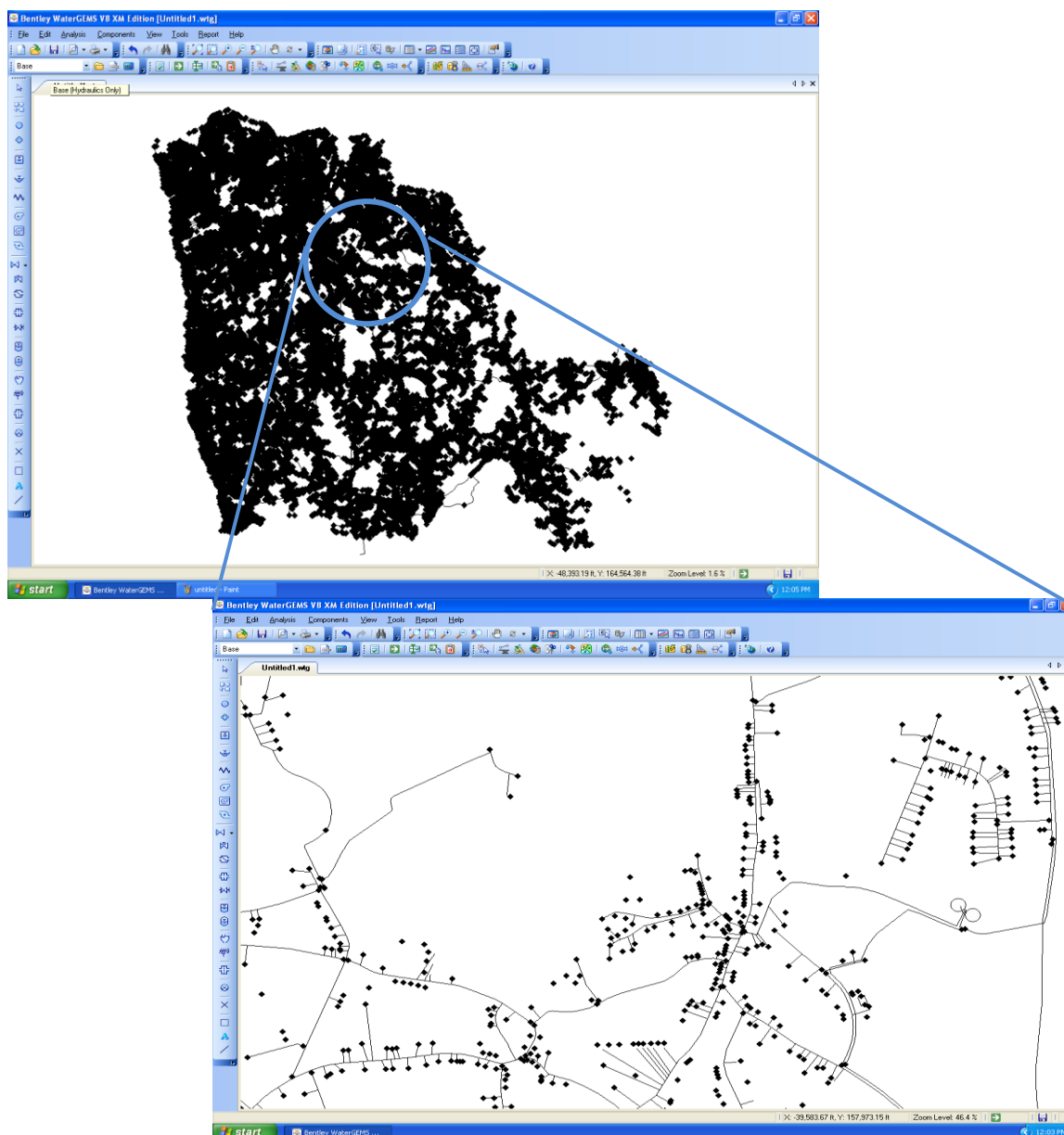


Fig. 2.42 – Modelo de uma rede de abastecimento de água no WaterGEMS (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

O EPANET é outro *Software* capaz de simular um SAA. Permite, entre outros, analisar a pressão na rede, o caudal e a velocidade, para diferentes instantes.

No caso da Figura 2.43 apresenta-se a rede de distribuição de um reservatório da Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA, analisando-se a pressão nos nós e o caudal na rede. Este tipo de simulação pode ser muito útil aquando da verificação dos pontos críticos, quer a nível de pressão como de caudal. Quando se simula o abastecimento ao longo de um dia consegue ter-se a perceção das principais anomalias do sistema de distribuição e com a obtenção do caudal mínimo, normalmente durante o período noturno, é possível ter uma ideia das perdas de água na rede.

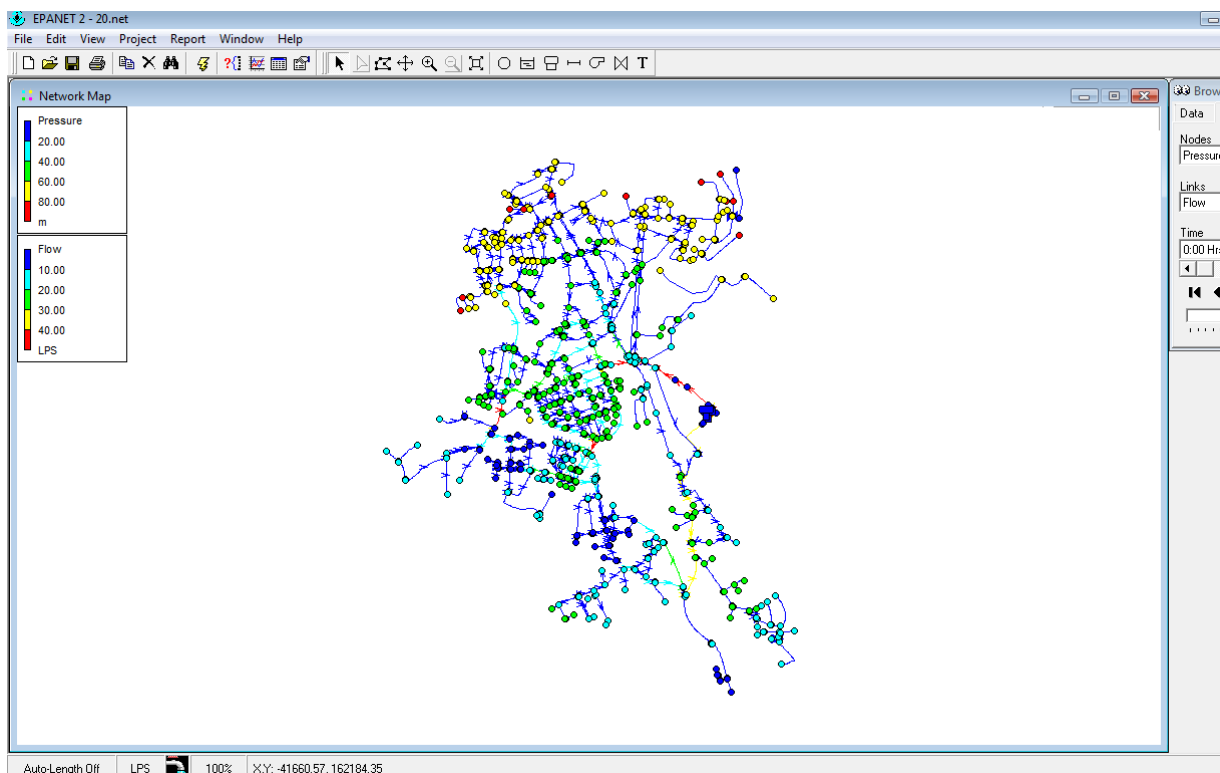


Fig. 2.43 – Modelo de uma rede de abastecimento de água no EPANET (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

2.8.5. GESTÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO ZONADA

A gestão de um sistema de medição zonada divide-se essencialmente em duas fases: a fase de trabalho preliminar, que inclui a seleção das técnicas de monitorização, as necessidades de informação, a procura do nível-base de perdas e a organização dos recursos e a fase de operação de rotina, em que a ZMC está finalmente a desempenhar as suas funções, incluindo a monitorização de rotina, a organização de recursos, a interpretação de resultados e a manutenção do sistema de medição zonada como é possível seguir através da Figura 2.44 (ALEGRE, *et al.*, 2005).

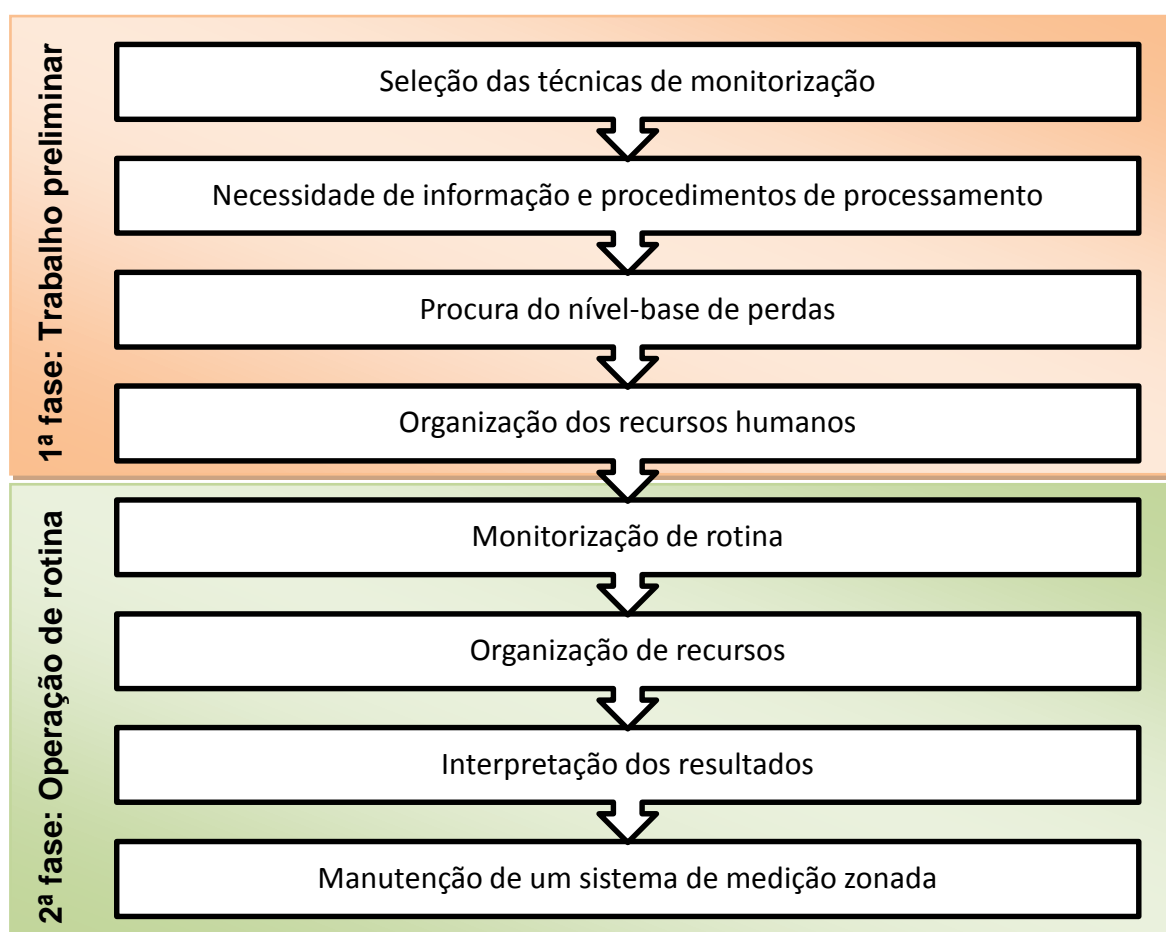


Fig. 2.44 – Fases da gestão de um sistema de medição zonada (ALEGRE, *et al.*, 2005)

1. Técnicas de monitorização

Os dois métodos de monitorização mais utilizados na medição zonada são a medição de caudais totais e a medição de caudais noturnos, já enunciados anteriormente. Deve acrescentar-se que o período de monitorização deve ser superior a 7 dias.

2. Necessidades de informação

A informação necessária assume duas designações, a informação estática e a dinâmica. A informação estática descreve as características físicas da rede de distribuição e a delimitação das ZMC. Inclui a planta de delimitação da ZMC, plantas de cadastro, as características dos medidores e o esquema da ZMC. Nesta fase é importante proceder à análise do regime de caudais e dos padrões de consumo que possibilitam, por exemplo, determinar o intervalo noturno significativo, durante o qual ocorre o caudal mínimo noturno, bem como a duração ideal das campanhas de monitorização. Também é importante identificar os grandes consumidores pois estes poderão ser os responsáveis pela grande parte do caudal consumido em períodos noturnos, bem como de uma parte das perdas registadas na rede. O recorrer aos registos de ocorrências de fugas, para o planeamento das atividades de localização de fugas deve ser conseguido durante esta fase. O responsável pela reparação da fuga, para que haja um registo de ocorrências completo, deve registar a data de reparação, a localização exata da rotura, a causa

estimada da rotura, os materiais utilizados na reparação e fazer algumas anotações sobre o estado da tubagem.

3. Procura do nível-base de perdas

O nível-base de perdas permite orientar a estratégia de controlo de perdas por medição zonada. É uma quantidade definida de modo fundamentalmente empírico, variando de ZMC para ZMC. Para a sua determinação, inicialmente deve verificar-se o estado de fecho das válvulas que definem as fronteiras das ZMC. Posteriormente deve efetuar-se a deteção do maior número possível de fugas, procurando e reparando em primeira instância as grandes fugas. Os caudais noturnos vão sendo observados e no momento em que já se repararam as fugas de forma rentável, considera-se atingido o nível-base de perdas. No caso de sistemas de abastecimento com capacidade de registo, afigura-se vantajoso observar, para além dos caudais noturnos, os caudais ao longo do dia.

4. Organização dos recursos humanos

A equipa responsável pelo controlo de perdas depende da dimensão das ZMC e de outros aspetos relacionados com estas. Contudo, existem funções a desempenhar pelos membros, dividindo-se em quatro categorias, a recolha de informação, a interpretação dessa mesma informação, a localização das fugas e a reparação das mesmas. Estas tarefas deverão ser executadas por pessoal instruído, com domínio da tarefa a executar. É extremamente importante que cada elemento esteja ciente do seu papel e das responsabilidades que lhe competem.

5. Monitorização de rotina

A monitorização de rotina tem como objetivo a deteção de alterações de caudais noturnos, possibilitando a identificação de níveis de perdas inaceitáveis. A leitura destes valores pode realizar-se quer diretamente por armazenamento dos dados em datalogger, que podem registar valores de volumes e pressão num determinado período de tempo, quer através de um sistema de telegestão, permitindo o armazenamento de dados de volumes, concentração de cloro e alertas em situações de anomalias, podendo haver um controlo o quanto mais exaustivo se pretender.

6. Organização de recursos

A organização dos recursos humanos já foi abordada anteriormente, no entanto, no caso das tarefas de monitorização é necessário disponibilizar um determinado número de recursos em equipamento, como medidores de caudais equipados com mostradores externos, não sendo necessário tanta mão-de-obra, um número suficiente de dataloggers que depende essencialmente do número de pontos de medição por ZMC, do número de ZMC a medir simultaneamente e da dimensão da área em causa.

7. Interpretação de resultados

A recolha da informação é um aspeto particularmente importante aquando da monitorização de ZMC, sendo que inicialmente é necessário determinar o grau de fiabilidade dos dados recolhidos, para que a sua interpretação seja o mais próximo da realidade possível. Numa perspetiva de medir a exatidão e fiabilidade dos dados é importante ter uma ideia do nível de erro introduzido pelos sucessivos passos até à utilização dos dados. Quantos mais pontos de medição existirem maior será o erro introduzido. No caso da utilização de dataloggers também poderá ser introduzido um erro relacionado com a frequência da amostragem ou com a resolução do registo em memória. A análise dos caudais noturnos, através da sua repetibilidade ou não, permite obter uma ideia da fiabilidade e exatidão dos dados recolhidos.

8. Manutenção de um sistema de medição zonada

O forte investimento na utilização de ZMC implica que seja garantido o bom funcionamento destas a longo prazo, no entanto, os casos de evolução dos consumos e das condições de distribuição poderão forçar a alteração do esquema inicial, devendo as mudanças ficar devidamente documentadas para que o investimento inicial não seja colocado em causa. A verificação do bom funcionamento dos equipamentos é um aspeto a ter em conta podendo ter de ser devidamente calibrados no caso de deteção de alguma anormalidade.

Portanto, no caso de **mudança dos limites de zona**, devido a expansões verificadas na rede ou até mesmo a reconfigurações de andares de pressão, é forçada a atualização das plantas, que terão de apresentar os novos limites estabelecidos, a atualização dos registos das válvulas, nos casos de implementação de novas válvulas de fronteira e/ou mudanças de estado das válvulas existentes e a atualização dos registos dos medidores com possibilidade de substituição destes caso as novas condições de escoamento o exijam.

No caso de **introdução de novas ligações** de abastecimento poderá haver novos cruzamentos de condutas e alteração da delimitação de uma ZMC. O procedimento a utilizar é do mesmo tipo do referido anteriormente.

Mudanças no regime de operações podem implicar alterações ao regime de caudais de uma ZMC. Fala-se, neste caso, do aumento ou diminuição da pressão de serviço implica uma monitorização dos caudais noturnos e o novo cálculo do nível-base de perdas. Alterações do regime de bombeamento também poderão introduzir alterações nos valores dos caudais e sentidos de escoamento o que implica a introdução de novos medidores ou substituição dos existentes, procedendo-se às operações descritas na secção “mudança dos limites de zona”.

2.8.6. GESTÃO DE PRESSÕES

A pressão num SAA não só condiciona as perdas de água, uma vez que em caso de pressões elevadas, no caso de ocorrência de roturas em condutas, o caudal de passagem pelo orifício é maior, como também influencia o consumo de água, levando a consumos superiores por parte dos consumidores. Portanto, é necessário colocar a pressão em patamares de bom funcionamento, isto é, entre a pressão máxima e mínima admissíveis. As pressões máxima e mínima são obtidas para as situações mais desfavoráveis, como já foi referido anteriormente.

O caudal escoado através de uma fuga ou rutura é quantificado através da lei de vazão de um orifício em que o fluido se encontra sob pressão e dado pela Equação 2.10:

$$Q = C \times A_0 \times P^N \quad (2.10)$$

Sendo,

Q – Caudal escoado pelo orifício [m³/s]

C – Coeficiente de vazão [-]

A₀ – Secção do orifício [m²]

P – Pressão de serviço do fluido [m.c.a.]

N – Expoente da lei de vazão [-]

O expoente da lei de vazão (N) depende das características das tubagens, encontrando-se tabelado tal como se apresenta no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Expoente da lei de vazão de um orifício (FARLEY, *et al.*, 2008) (GREYVENSTEIN, *et al.*, 2005)

Expoente da lei de vazão	N [-]
Tubagens rígidas e flexíveis com orifícios de área fixa	0,5
Inserções, articulações e juntas de ligação	1,5
Tubagens flexíveis com fendas transversais	2,0
Tubagens flexíveis com fendas longitudinais	2,5

Contudo, a quantificação do expoente da lei de vazão é de difícil quantificação uma vez que depende do nível de pressão a que as tubagens estão sujeitas. Tirando-se, então, as devidas conclusões relativamente ao caudal escoado por uma determinada fuga, presente numa tubagem com um determinado material, também é possível estabelecer uma relação direta entre o caudal da fuga pelos orifícios de nas tubagens e a variação da pressão a que estão sujeitas. O efeito da redução da pressão reflete-se nas perdas reais segundo a Equação 2.11 (ALEGRE, *et al.*, 2005):

$$Q_{final} = Q_{inicial} \times \left(\frac{P_{final}}{P_{inicial}} \right)^N \quad (2.11)$$

Sendo,

Q_{final} – Caudal de perdas após redução da pressão [m^3/s]

$Q_{inicial}$ – Caudal de perdas antes da redução da pressão [m^3/s]

P_{final} – Pressão final após redução [m]

$P_{inicial}$ – Pressão inicial anterior à redução [m]

N – Expoente da lei de vazão [-]

2.8.6.1. Benefícios associados à gestão da pressão

Uma boa gestão da pressão pode conduzir a diversos benefícios, destacando-se os seguintes (ALEGRE, *et al.*, 2005):

- **Redução do caudal de perdas**

Como apresentado na equação 2.10, em resultado da relação direta entre a pressão e o caudal de perdas por um orifício, com a redução da pressão obtém-se um benefício evidente. Apesar de existirem inúmeros tipos de fugas que apresentam diferentes respostas à pressão, esta operação é principalmente relevante na diminuição das pequenas fugas, já que estas não são passíveis de reparação de forma significativa.

- **Redução do consumo em dispositivos pressurizados**

A gestão da pressão pode ser um ponto de partida para limitar os consumos, no caso do ponto de consumo estar diretamente sujeito à pressão da rede. Exige-se, com isto, um controlo cuidado por parte da EG, passando por aspetos não só de conceção do sistema mas também de operação e manutenção corrente. Deve garantir-se em todo o sistema pressões entre os mínimos e máximos regulamentares. Assim, ao evitar-se pressões com valores excessivos, contribui-se para menores consumos associados a torneiras, chuveiros ou até mesmo bocas de rega. Porém, nem todos os dispositivos estão sujeitos à pressão da rede, especialmente nas situações em que existem reservatórios locais. Nestas situações, não há uma redução significativa do consumo por efeito da pressão mas diminui-se a probabilidade de ocorrência de fugas, contribuindo-se para a redução das perdas.

- **Estabilidade da pressão na rede de distribuição**

O controlo ativo da pressão pode evitar flutuações da pressão causadas pelo padrão de consumos diário. Em zonas com maior magnitude das flutuações, para além do potencial enfraquecimento das infraestruturas, também podem ocorrer pressões fora dos limites admissíveis. Se por um lado pressões baixas podem resultar no défice de caudal ou no não funcionamento de determinados equipamentos, por outro, pressões altas podem resultar em reverberação de condutas ou avarias em aparelhos por ser ultrapassada a pressão de serviço. Assim, a estabilização da pressão na rede de distribuição conduz, necessariamente, a uma melhoria da qualidade do serviço prestado.

- **Proteção do estado estrutural da rede e redução do número de roturas**

Como já foi referido no tópico anterior, a ocorrência de flutuações diárias significativas de pressão causa enfraquecimento das infraestruturas refletindo-se no aumento de roturas, reduzindo a vida útil das redes. Um dos resultados mais evidentes da gestão de pressões é a redução do número de novas fugas.

- **Garantia dos caudais de incêndio**

O dimensionamento de um sistema de controlo de pressões deve ter em consideração a garantia de caudais de incêndio principalmente em zonas onde o combate a incêndios seja dificilmente efetuado com recurso a autotanques.

A garantia de caudais de incêndio pode ser melhorada com uma melhor gestão da pressão, ainda que muitas vezes referida como uma limitação à gestão de pressões.

2.8.6.2. Problemas potenciais

Há vários problemas associados às situações em que não ocorre uma boa gestão de pressões, destacando-se os seguintes:

- **Perda de faturação**

Apesar da potencial perda de faturação, verificando-se apenas quando há consumos, os ganhos contínuos com a redução das perdas devido à gestão da pressão assumem um papel bem mais importante para a EG. Estando os períodos noturnos associados a pressões mais elevadas e à potencial redução das perdas, o consumo dá-se como insignificante. Assim, a perda de faturação embora seja uma realidade é devidamente compensada pela redução das perdas de água.

- **Enchimento deficiente dos reservatórios em período noturno**

A redução da pressão durante o período noturno pode levar a problemas nas condutas principais que abastecem os reservatórios. Contudo, como são utilizadas condutas de diâmetros superiores para o abastecimento de reservatórios, a gestão da pressão não causa problemas significativos no enchimento de reservatórios.

- **Funcionamento deficiente das VRP**

O incumprimento dos requisitos de operação e manutenção num sistema de gestão ativa de pressões pode resultar no incorreto funcionamento dos dispositivos a ele pertencentes como são o exemplo das válvulas redutoras de pressão (VRP). Com isto, em situações extremas, o mau funcionamento pode ser causador de roturas ou abastecimento insuficiente aos consumidores.

- **Caudais e pressões insuficientes em edifícios altos**

No caso de inexistência de um sistema sobressor ou elevatório próprio nos edifícios mais altos, a diminuição da pressão na rede pode condicionar a garantia de caudais e pressões suficientes.

2.8.7. LOCALIZAÇÃO DE FUGAS

Sempre que a monitorização indique a ocorrência de um nível de perdas elevado torna-se necessário proceder à localização e deteção das suas causas. Para a identificação da zona, local onde é dirigida a equipa de inspeção, pode recorrer-se ao subzonamento. No entanto, é necessário identificar o local exato da fuga, recorrendo-se neste caso a equipamentos que têm como finalidade a deteção das fugas.

2.8.7.1. Subzonamento

O subzonamento consiste no isolamento de subzonas de uma ZMC com respetivas medições podendo não ser necessário utilizar equipamentos de deteção acústica. Recorre-se a este método quando são atingidos níveis de perdas acima do esperado, sendo necessário recorrer a válvulas cujo fecho permite a delimitação das subzonas, mas também que a disposição dos medidores proporcione tal subdivisão. Por vezes, o fecho de válvulas internas, como se apresenta na figura, pode implicar alterações de tal forma incompatíveis à distribuição de caudais. Assim, instalam-se medidores nas fronteiras das subzonas possibilitando a medição de caudais de entrada na subzona, sendo lidos quando for necessário recorrer ao subzonamento levando à possibilidade de identificar as subzonas problemáticas.

Na primeira situação da Figura 2.45, com o fecho das duas válvulas temporárias, divide-se a zmc 1 em duas subzonas, podendo analisar-se os caudais separadamente pela leitura nos dois medidores existentes na fronteira. Na segunda situação, com a existência de apenas uma válvula de fecho temporária, o caudal percorre toda a zmc 1, no entanto, com a utilização de três medidores de caudal, dois na fronteira e um último no centro da zmc 1, é possível obter as várias leituras. Ambas as situações são plausíveis e exequíveis.

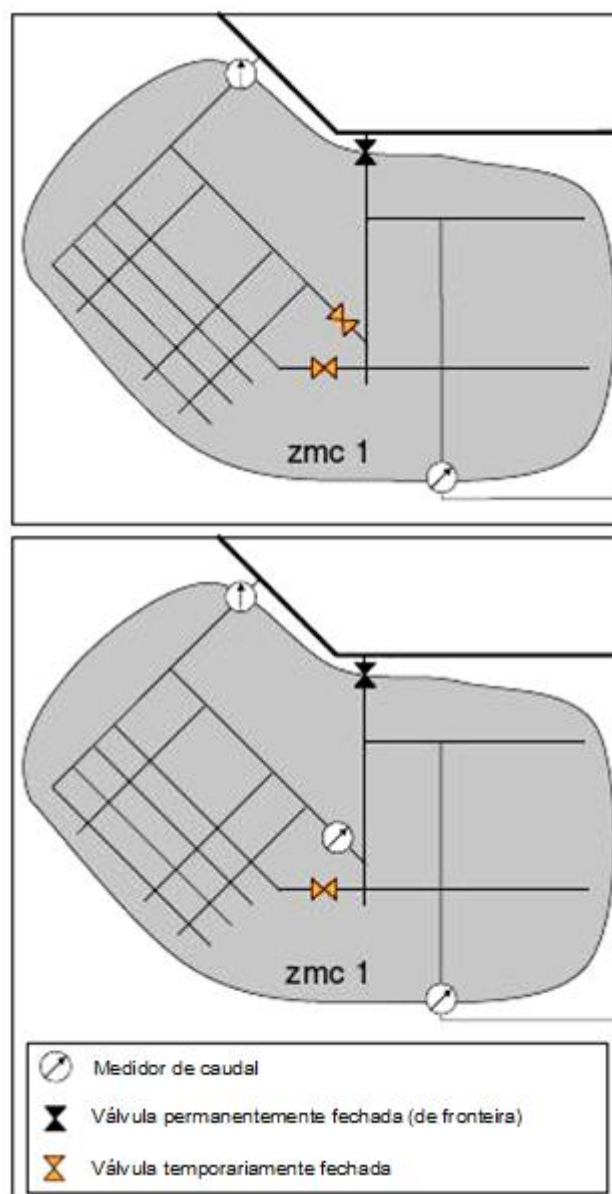


Fig. 2.45 – Localização aproximada por subzonamento (ALEGRE, *et al.*, 2005)

2.8.7.2. Detecção exata de fugas

A deteção exata de fugas consiste em encontrar o local específico de ocorrência de uma fuga, estando esta visível ou não. Denomina-se por controlo ativo de perdas as ações de deteção e localização de fugas não visíveis, por métodos acústicos e de pesquisa. Por conseguinte, há uma redução do volume de água perdido, pois estes métodos não permitem a evolução das fugas para roturas. Estes trabalhos estão bastante dependentes da perícia, experiência e capacidade de análise do operador. O controlo passivo de perdas não é mais do que a realização de reparações somente quando as fugas de água afloram à superfície e são comunicadas à EG, geralmente por intermédio da população. Assim, no controlo passivo, o volume de perdido é claramente maior, não só pelo tempo decorrido desde o início da fuga até ao afloramento da água à superfície, mas também pela existência de pequenas fugas nas quais não ocorre o afloramento da água, e, portanto, a perda de água é contínua.

A colocação de operários inteiramente ligados ao trabalho de campo, particularmente ligados à detecção de fugas e roturas, é uma atitude preventiva, sendo uma mais-valia.

Os métodos acústicos consistem na localização de uma fuga pela emissão de um ruído específico, definido por uma gama de frequências determinada, numa conduta sob pressão. A distribuição de frequências depende de fatores como o tipo e tamanho de orifícios, pressão de serviço, material da conduta, tipo de solo e respetivo grau de saturação. O ruído produzido é difundido ao longo da tubagem, a uma velocidade dependente das características da água e do material da tubagem. (ALEGRE, *et al.*, 2005)

2.8.7.3. Equipamentos de deteção

Existem vários equipamentos de deteção de fugas que são uma ferramenta essencial na localização exata de fugas, quer sejam estas visíveis ou não. De vários equipamentos existentes destacam-se os que a seguir se expõem.

O **correlacionador de ruídos** contém sensores de contato, pré-amplificadores e processador. Os sensores do correlacionador são colocados na superfície do solo, por cima das condutas. Através da captação do ruído, pela diferença de tempo que este atinge os dois sensores e depois de medida a distância entre os sensores, o diâmetro da conduta e o material por intermédio do operador, o processador determina o local exato da fuga. O equipamento e esquema de montagem encontram-se representados na Figura 2.46.

Este equipamento é utilizado no caso da existência de ruído ao redor do local apontado como de potencial fuga, pois a sensibilidade ao ruído do geofone neste tipo de situações impossibilita o seu bom funcionamento. No caso de não haver certezas de fuga aquando da utilização do geofone, o correlacionador de ruídos também poderá ser útil. Note-se que a deteção de fugas através do correlacionador só é possível quando estas se encontram exatamente dentro do terreno onde os sensores estão colocados.



Fig. 2.46 – Correlacionador de ruídos (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

Os **loggers acústicos** (Figura 2.47) representam uma outra solução de deteção de fugas através do ruído. São distribuídos em grupo pela zona onde há suspeita de ocorrência de fuga. Colocam-se em

hidrantes ou outros pontos de medição permitindo a apenas a confirmação da existência de fugas nas redondezas, sendo necessário recorrer a outro equipamento para determinar o local exato da fuga. Este tipo de aparelhos associa o nível de ruído existente nas condutas à existência ou não de fugas nestas.



Fig. 2.47 – Loggers acústicos (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

A **vareta eletrónica de escuta** (Figura 2.48) permite a deteção de fugas, com indicação visual e sonora da fuga, sendo uma alternativa às varetas mecânicas pela sua maior sensibilidade. Apresentando um tamanho reduzido e de fácil transporte, este equipamento possui uma vareta que ajuda o operador a ouvir o som na rede, impercetíveis ao ouvido humano. O equipamento funciona com um simples botão que quando ativo permite a reprodução de som nos auscultadores Bluetooth de elevada qualidade. O sensor dispõe de vários elementos como a ponta de escuta e as varetas de extensão, para captar o ruído em válvulas e elementos mais afastados.



Fig. 2.48 – Vareta eletrônica de escuta (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

O **geofone** (Figura 2.49) é outro equipamento utilizado no controlo ativo de perdas, podendo ser eletrónico ou mecânico. É composto por um sensor, um amplificador, um filtro de ruídos e auscultadores para os ouvidos. Para a correta deteção de fugas em condutas referenciadas como potenciais de ocorrência de fugas, coloca-se o sensor na superfície do solo na direção das condutas para que se possa captar corretamente o ruído. A fuga localiza-se no local onde a intensidade do ruído é maior.

A principal diferença do geofone mecânico relativamente ao eletrónico é a inexistência de filtro de ruídos, o que dificulta a precisão da deteção uma vez que a análise do ruído é de inteira responsabilidade do operador.



Fig. 2.49 – Geofone (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

2.9. CONCLUSÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Com a pesquisa bibliográfica realizada, nota-se a importância do setor de abastecimento para o desenvolvimento económico e até mesmo social do país. Portanto, é importante garantir o bom funcionamento do SAA, desde a captação da água até à distribuição desta. A utilização de acessórios apropriados conduz a um melhor aproveitamento da água entrada no sistema, quer a nível de estanqueidade de água, com a possível utilização de juntas e outros acessórios que permitem a mudança de direção, quer a nível da pressão de serviço na rede, com a utilização de válvulas redutoras de pressão. A prática de uma boa gestão é o caminho a seguir, pois, por vezes, verifica-se a má utilização dos fatores produtivos. A aplicação de tarifas acima do necessário para recuperar os custos é um outro problema existente no setor.

Em Portugal, dá-se conta de uma evolução significativa do setor, quer a nível de cobertura da rede, quer a nível de água segura, atingindo-se os patamares de exigência impostos pelos Planos de abastecimento de água e EG. No que diz respeito às perdas de água, ainda não são cumpridas as exigências impostas, sendo que cerca de 30% da água entrada no sistema é perdida. A diminuição desta percentagem de perdas poderá conduzir à prática de tarifas mais baixas e a uma menor disparidade entre as tarifas das várias EG.

Depois de identificados os principais problemas do setor, também é possível perceber a diferença existente entre os dois principais tipos de perdas, aparentes e reais, bem como os principais fatores que as influenciam. No Balanço Hídrico encontram-se as várias componentes de um sistema de abastecimento de água, podendo ser a base de controlo das perdas. Permite, para além do controlo, a avaliação do desempenho de uma EG, com a retirada dos dados necessários para a cálculo dos indicadores de desempenho.

No caso de se pretender diminuir a percentagem de perdas de água, deve ter-se em conta o nível económico de perdas, valor até ao qual os custos de investimento são de potencial recuperação. Para tal, recorre-se a zonas de medição e controlo, como forma de controlar de uma forma mais pormenorizada as zonas em causa. A medição zonada conduz à identificação de zonas com potencial existência de fugas, identificando-se o local exato desta com recurso a aparelhos de deteção de fugas.

Atualmente já existem vários estudos acerca desta temática que possibilitam uma melhor compreensão deste problema, no entanto ainda há muito trabalho a ser desenvolvido visto a maior parte da EG ainda registarem elevadas percentagens de água perdida. Como ponto de partida para uma maior eficiência é crucial recorrer à medição zonada.

3

ÂMBITO E OBJETIVOS

3.1. ÂMBITO DA DISSERTAÇÃO

Em virtude da pesquisa bibliográfica realizada, no âmbito desta dissertação, é possível constatar a importância das perdas reais de água na eficiência de um SAA. Por conseguinte, como garantia de uma boa gestão económica e técnica, a redução das perdas de água é um objetivo primordial.

Apesar da ocorrência de perdas de água em fugas e/ou roturas nas redes de abastecimento de água serem inevitáveis, é possível reduzi-las, em resultado de um controlo e monitorização suficientes. O ponto de partida passará pela medição zonada, procedendo-se assim, à divisão das várias zonas de acordo com as exigências e características presentes. Os custos associados, todavia elevados e não ao alcance de todas as EG, serão recuperados com o aumento da faturação ou pelo menos pelo não desperdício de água que dá entrada no sistema. Por vezes uma simples redução das perdas de água poderá exigir a existência de reservatórios com capacidades inferiores, evitando-se gastos com construções de reservatórios de maior capacidade ou reforço dos já existentes.

A análise do CMN permite a retirada de conclusões relativamente às potenciais perdas de água existentes na rede, sendo a análise muito mais valiosa no caso de existência de ZMC. Assim, é possível verificar a existência ou não de fugas numa determinada zona, com um número reduzido de clientes, localizando-se logo à partida a fuga, caso exista.

A presente dissertação foi desenvolvida em ambiente empresarial na Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA. Com esta oportunidade, foi concedida a disponibilidade de acesso a todos os dados de exploração e programas necessários para se conseguir desenvolver o trabalho em questão e cumprir os referentes objetivos.

3.2. OBJETIVOS

De acordo com o exposto anteriormente, foram traçados os objetivos desta dissertação.

O objetivo primordial prende-se com a definição de critérios para delimitação de zonas de medição e controlo. Com base nos dados disponíveis procuram-se definir ZMC, de acordo com os critérios estabelecidos.

Visto isto, os objetivos parcelares são os seguintes:

- Detecção e localização de potenciais fugas no sistema;
- Delimitação da fonteira da ZMC;

- Identificação de zonas com características idênticas;
- Delimitação de ZMC;
- Validação e implementação de ZMC;
- Estudo do CMN;
- Associação de caudais às ZMC definidas.

4

CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA NA EMPRESA ÁGUAS E PARQUE BIOLÓGICO DE GAIA

4.1. ÁGUAS E PARQUE BIOLÓGICO DE GAIA, EM, SA

4.1.1. INTRODUÇÃO

Até 1998 os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Vila Nova de Gaia, em funcionamento desde 1948, asseguravam razoavelmente o abastecimento de água no município, registando elevadas perdas.

A organização dos Serviços Municipalizados de Gaia revela-se então manifestamente desajustada face às exigências crescentes de qualidade do serviço de abastecimento de água. Urge a necessidade de modernizar os serviços, controlar e construir para que tais exigências sejam cumpridas com distinção.

Em 1999, por vontade da Câmara Municipal de Gaia e aprovação da Assembleia Municipal do Concelho, foi construída a empresa Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA, situada na Rua 14 de Outubro, em Vila Nova de Gaia.

O SAA, cuja rede de distribuição se estende por cerca de 1500 Km, em 24 freguesias, alimentadas por 32 reservatórios, assegura não só a satisfação das necessidades da população residente, mas também da população flutuante, principalmente nos meses de Verão.

De referir que até 2000 a empresa Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA, era responsável pela captação e elevação da água necessária ao seu sistema de distribuição, através de captações em profundidade existentes no areal de Lever (Rio Douro). Estas captações, para além do abastecimento à população de Vila Nova de Gaia, abrangiam ainda o fornecimento em alta aos concelhos de Espinho e Santa Maria da Feira. A partir dessa data o sistema de adução existente foi integrado no Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água da Área Sul do Grande Porto da empresa Águas do Douro e Paiva, SA, a quem passou a competir o fornecimento de água em alta.

Em 2002 ficou concluído o grande anel de abastecimento de água ao concelho, ficando o sistema dotado com duas adutoras distintas, conferindo-lhe maior fiabilidade.

Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA, abastece de água com qualidade mais de 315 mil residentes, os quais, juntamente com a atividade empresarial, consumiram em 2012 cerca 13000 m³ de água.

A empresa, ao longo a sua atividade e dada a sua longa experiência, tem dado maior atenção aos problemas das perdas de água e procurado sensibilizar os consumidores para a redução dos consumos

supérfluos. Encontra-se equipada com um sistema de telegestão, responsável pela recolha e armazenamento de dados. Apesar de dispendioso, devido ao custo dos equipamentos e de operação envolvidos, utiliza-se para efeitos de medição zonada, proporcionando:

- **Segurança na exploração da rede**, dado o utilizador ser avisado da ocorrência de qualquer tipo de anomalia, como são exemplo as avarias dos grupos de bombagem, níveis de água altos ou baixos dos reservatórios, faltas de pressão na rede e faltas de energia elétrica;
- **Conhecimento em tempo real do funcionamento das instalações**;
- **Comando à distância** de grupos de bombagem e de válvulas;
- **Gestão da energia elétrica** de todas as instalações de bombagem e tratamento;
- **Controlo da qualidade** pela verificação dos parâmetros de qualidade da água, como é exemplo a concentração de cloro;
- **Armazenamento de dados** que possibilitam a análise do comportamento caudais num dado reservatório, ajudando na descoberta de roturas ou outro tipo de perdas.

Atualmente, a Águas e Parque Biológico de Gaia, EM, SA, está estruturada segundo o organograma apresentado na Figura 4.1.

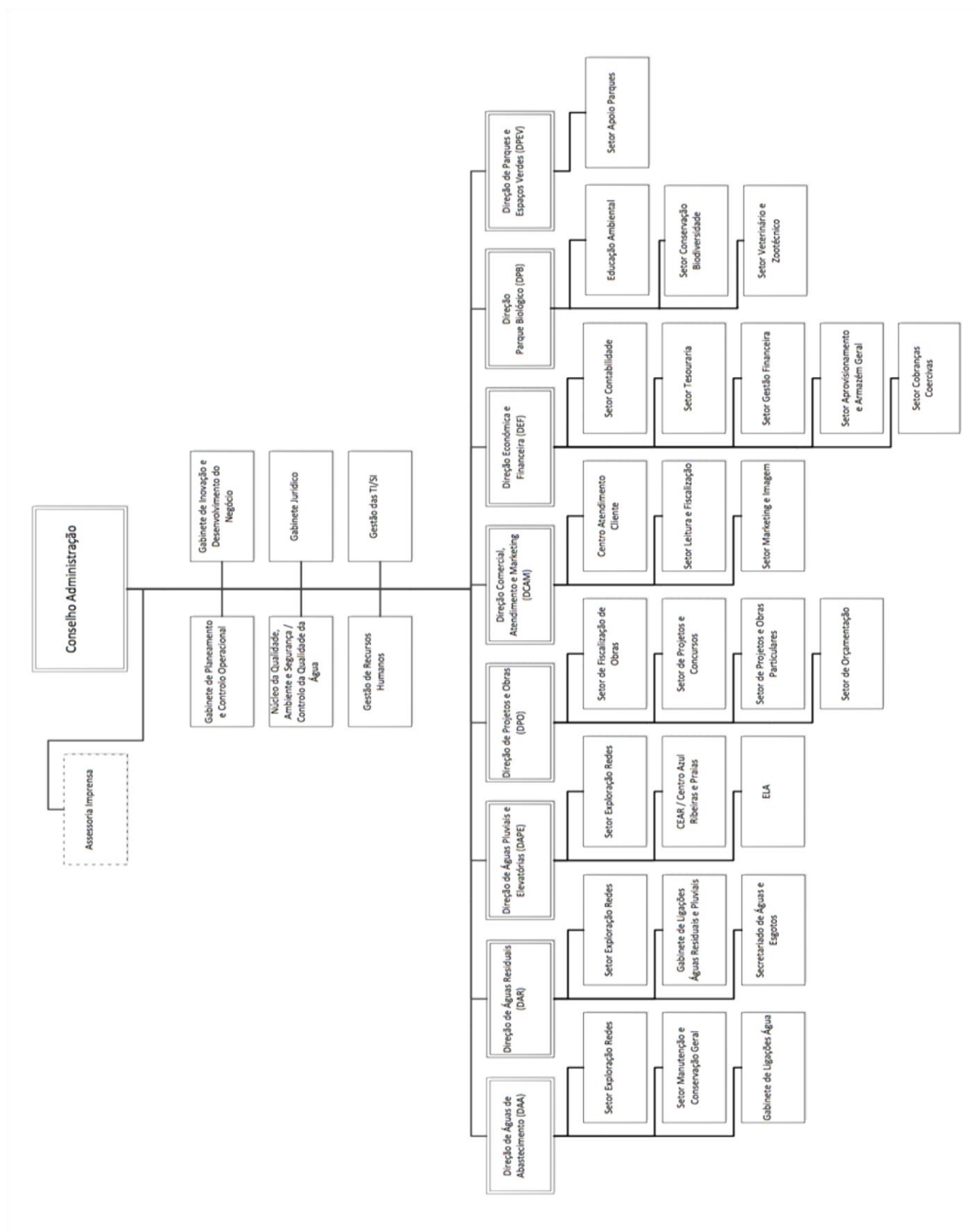


Fig. 4.1 – Organograma (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

A simplificação do organograma com apenas um nível de Direção abaixo da Administração, a definição dos objetivos e prioridades da Empresa, o reforço das equipas técnicas bem como a melhoria da qualidade de serviço prestado asseguram ganhos de produtividade e melhorias no atendimento.

4.1.2. REDE DE ABASTECIMENTO

Na Figura 4.2, onde se encontra o mapa da rede de distribuição é possível observar a existência de 32 reservatórios, dos quais se destacam os reservatórios da Rasa, General Torres, Monte Grande, Vila D'Este, Fojo e Carvalhos. Os cinco maiores reservatórios representam aproximadamente 50% da rede, sendo que os nove menores representam 5%. O reservatório da Rasa, maior reservatório da rede, representa 35% da rede, com cerca de 31000 clientes, equivalente aos vinte e um reservatórios menores.



Fig. 4.2 – Mapa da rede de distribuição (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

A rede de abastecimento com cerca de 1500 Km de extensão cobre praticamente todo o território municipal.

A expansão da rede dá-se de acordo com as necessidades da população que se vai fixando no concelho. Como é possível observar no Quadro 4.1, em 2012 foram instalados mais 4 Km de condutas para servir novos consumidores e substituíram-se 6,5 Km de condutas antigas como as exigências de qualidade de serviço aconselham.

Quadro 4.1 – Rede de distribuição de água (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

Rede de Água (Km)			
Ano	Existente	Nova	Antiga Substituída
2008	1469,0	6,4	2,4
2009	1470,9	1,9	2,4
2010	1474,8	3,9	1,1
2011	1476,4	1,6	2,1
2012	1480,4	4,0	6,5

No que diz respeito às instalações de novos ramais de ligação e contadores, apresentam-se no Quadro 4.2 com as respetivas evoluções ao longo dos últimos anos.

Quadro 4.2 – Número de ramais e contadores executados (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

	2008	2009	2010	2011	2012
Ramais executados	682	604	446	403	321
Contadores colocados	7306	7140	7191	6027	6155

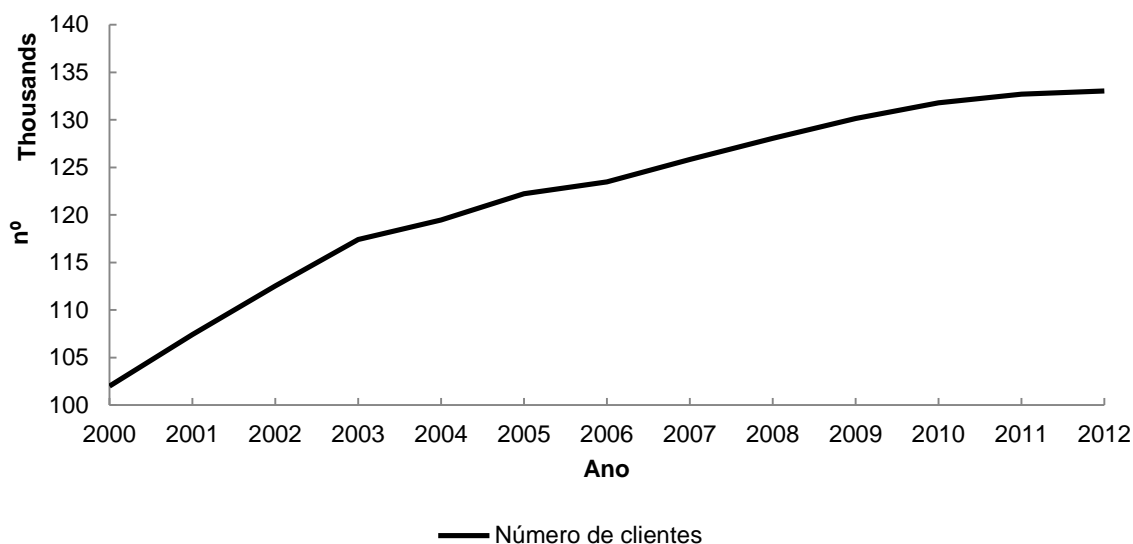
Ao longo dos anos o número de ramais executados diminuiu, tendo reduzindo-se para a metade de ramais executados num período de 5 anos. O número de contadores colocados também diminuiu, no entanto não apresenta uma redução tão significativa ao longo dos anos.

A existência de diferentes tipos de clientes que apresentam perfis de consumos diferentes ao longo de um dia conduz à necessidade de se apresentar o Quadro 4.3. Analisando o quadro conclui-se que a rede é maioritariamente constituída por clientes domésticos, com uma percentagem superior a 90%, possuindo apenas 122 clientes de serviços públicos dos 133.044 clientes existentes na rede em 2012.

Quadro 4.3 – Tipo e número de clientes em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

Tipo de cliente	Número de clientes	Percentagem
Domésticos	120576	90,6%
Comércio e Indústria	11587	8,7%
Serviços Públicos	122	0,1%
Município e J.Freg.	640	0,5%
Desporto	119	0,1%
Total	133044	100,0%

As percentagens dos diferentes tipos de clientes mantêm-se praticamente inalteradas ao longo dos anos, daí a apresentação de apenas um ano, o de 2012. Ainda assim, o número de clientes foi aumentando ao longo dos anos passando de 101.998 em 2000 para 133.044 em 2012, como é possível verificar no Gráfico 4.1.



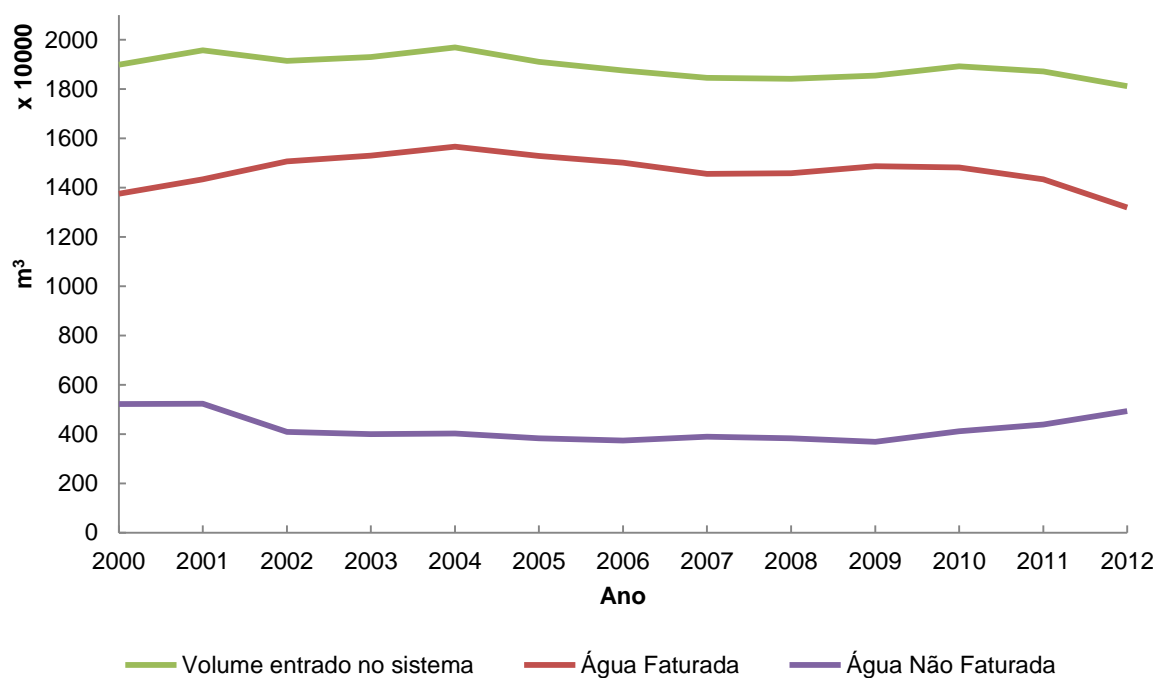
Graf. 4.1 – Evolução dos clientes da rede (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

4.2. DECOMPOSIÇÃO DA ANF

A importância do conhecimento da evolução no número de clientes também se prende com o facto de se estabelecer uma melhor relação desta com o consumo ao longo dos anos. Assim, como o número de clientes tem um aumento de aproximadamente 20% nos últimos 12 anos é de esperar um aumento do volume de água entrado no sistema caso tudo o resto se mantenha constante ao longo dos anos. Surge, então, a necessidade de verificar a veracidade do que anteriormente foi dito, analisando os volumes de água adquirido, faturado e não faturado neste período de tempo.

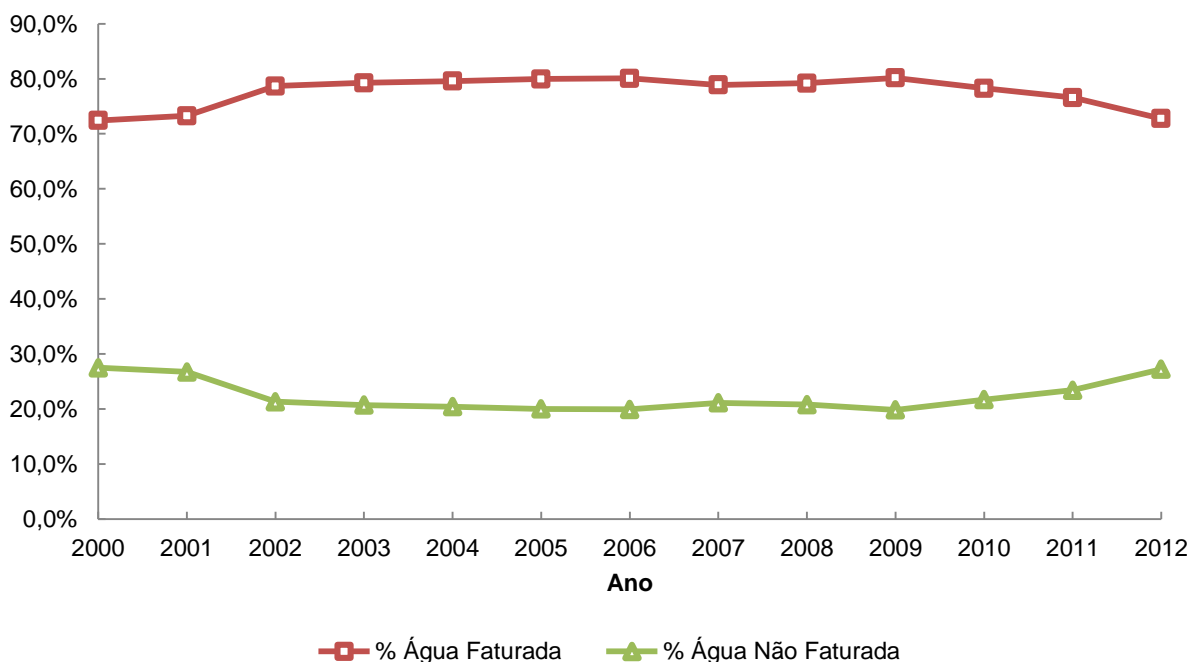
O primeiro balanço Hídrico realizado no ano de 1999 apresenta um baixo rigor, quer pela inexistência de valores comparativos de anos transatos, quer pelo aparecer deste método, já que a Águas e Parque Biológico de Gaia, EM,SA, foi das primeiras EG a recorrer a este instrumento de auxílio à boa gestão da água. Assim, considera-se o ano de 2000 como ponto de partida.

Observando o Gráfico 4.2, no período de 2000 a 2002, para uma pequena variação de água entrada no sistema ocorre um aumento da água faturada. Nota-se uma constância da relação dos volumes de água adquirida, faturada e não faturada ao longo do período de 2002 a 2009. Os últimos quatro anos não são muito favoráveis pois dá-se um novo aumento da água não faturada e uma diminuição da água faturada, situação duplamente negativa, afetando os resultados financeiros desse período. O ano de 2009 é assim um ponto de inflexão das curvas e marca o funcionamento do atual programa de faturação.



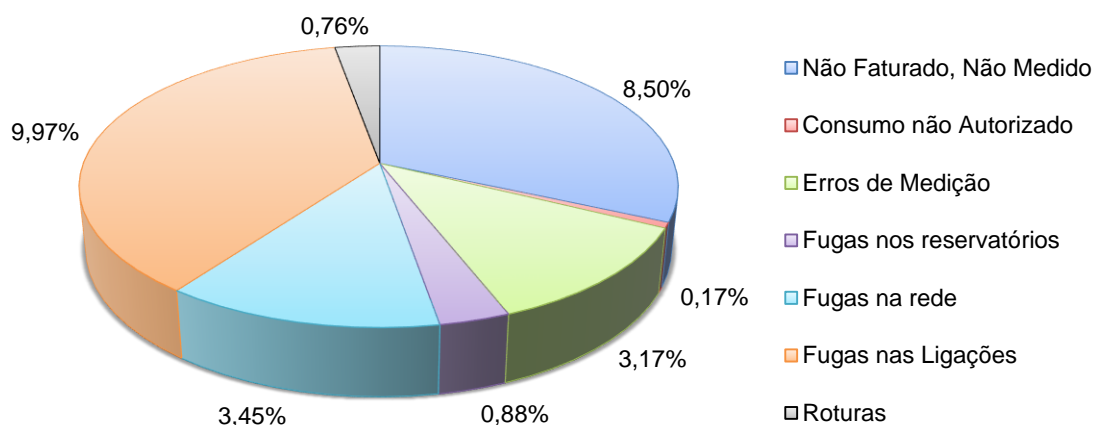
Graf. 4.2 – Evolução dos volumes de água adquirida, faturado e não faturado (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

No entanto, as conclusões anteriores tornam-se mais evidentes pela análise das percentagens de água faturada e não faturada, como apresentado no Gráfico 4.3.



Graf. 4.3 – Evolução das percentagens de água faturada e não faturada (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

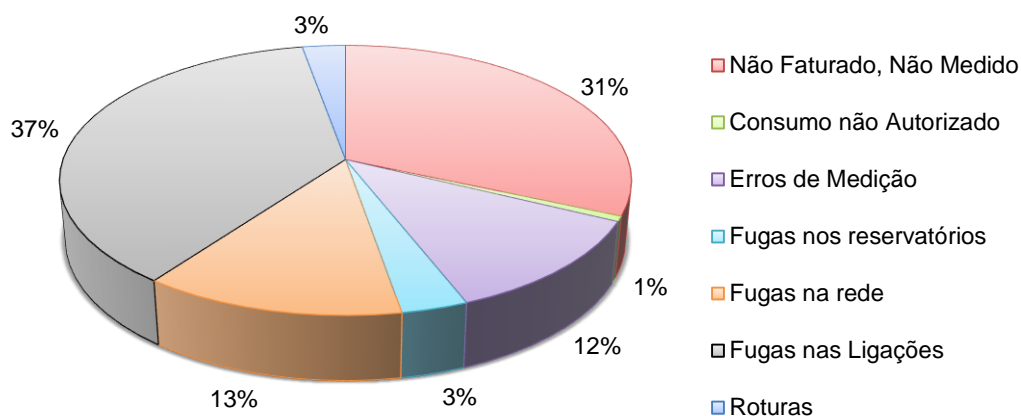
Da percentagem de água não faturada em 2012 (27,2% relativamente à água entrada no sistema), Gráfico 4.4, cerca de 10% são relativos a fugas nas ligações e 9% ao consumo autorizado não faturado, não medido. O método de cálculo deste consumo, apesar de impreciso, considera-se razoavelmente seguro para se aceitar a incerteza. O consumo não autorizado é aquele que merece uma menor atenção devido à sua baixa percentagem ao contrário dos erros de medição que corresponde à subfacturação inerente à imprecisão dos contadores pois para além de ser fácil de operar também assegura a obtenção de resultados significativos com maior eficácia e rapidez.



Graf. 4.4 – Decomposição da água não faturada em relação à água entrada no sistema em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

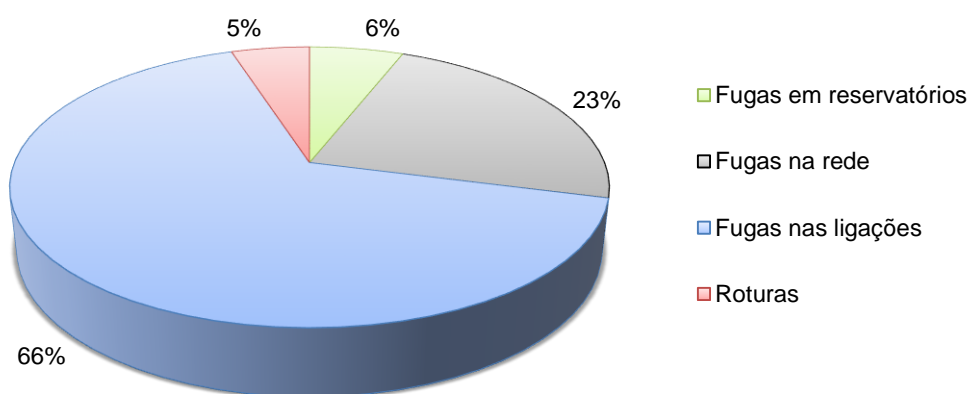
As percentagens anteriores podem ser tratadas de uma outra forma, Gráfico 4.5, decompondo-se a percentagem de água não faturada.

Os 37% referentes a fugas nas ligações são o resultado alocado à forma de cálculo da Associação Internacional de Água (IWA) que considera toda e qualquer tipo de ligação existente na rede na sua total extensão. Como na grande maioria dos casos se trata de fugas de dimensões diminutas tornam-se de difícil deteção, o que impede uma redução significativa deste tipo de perdas. Assim, é necessário eliminar as fugas de maiores dimensões procurando reduzir ao máximo a percentagem deste tipo de perdas de água.



Graf. 4.5 – Decomposição dos 27,2% de água não faturada em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

Decompondo-se agora os 15,1% de perdas reais tal como apresentado no Gráfico 4.6, percebe-se melhor a contribuição das fugas nas ligações e das fugas na rede para a elevada percentagem de água não faturada.



Graf. 4.6 – Decomposição dos 15,1% das perdas reais em 2012 (ÁGUAS DE GAIA, 2014)

As roturas, apesar de apresentarem uma percentagem de 5% das perdas reais, podem tornar-se numa situação preocupante caso estas se verifiquem em condutas com diâmetros consideráveis. Nos últimos anos, devido ao envelhecimento das condutas, tem-se verificado um aumento do número de roturas, situação que tenderá a agravar-se. Importa, por isso, ter noção da quantidade de água não faturada que estará a ser afetada pelo número de roturas de condutas dos diversos diâmetros. Segundo Quintela, o caudal escoado por um orifício numa tubagem pode ser calculado pela Equação 4.1.

$$Q = CA\sqrt{2gH_m} \quad (4.1)$$

Sendo,

Q – Caudal escoado pelo orifício [m³/h]

C – Coeficiente de vazão [-]

A – Área da secção da tubagem [m²]

g – Aceleração da gravidade [m/s²]

H_m – Carga hidráulica [m]

Considerando um coeficiente de vazão de 0,95, aceleração da gravidade de 9,8m/s² e uma carga hidráulica de 5m, para uma conduta de 90mm, obtém-se em caudal de 216m³/h e, para uma conduta de 315mm um caudal de 2520m³/h, ou seja, cerca de 12 vezes mais. Por outras palavras, uma única rotura numa conduta de 315mm perde tanta água como 12 condutas de 90mm, nas mesmas condições de escoamento.

5

DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DE ZMC

5.1. ANÁLISE DAS PERDAS DE R1 POR COMPARAÇÃO COM R2

Numa tentativa de desvendar a existência de consumos noturnos elevados no reservatório R1 procurou-se encontrar na rede uma zona com características semelhantes.

Os reservatórios R1 e R2 encontram-se em zonas constituídas maioritariamente por moradias e com topografia e demografia idênticas. Devido às semelhanças existentes entre estes dois reservatórios é de esperar um consumo com um perfil idêntico ao longo do dia.

Os consumos ao longo do dia e durante uma semana do reservatório R1 são os apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Consumo do reservatório R1 ao longo de um dia, durante uma semana

Horas	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo
1	37	41	40	40	39	40	45
2	29	31	32	31	29	31	33
3	26	27	28	30	26	26	26
4	26	27	26	30	25	24	25
5	27	25	27	30	25	24	24
6	28	28	29	35	26	25	24
7	46	48	47	56	46	33	31
8	87	86	89	90	84	52	42
9	79	78	81	82	79	76	65
10	67	76	70	71	67	90	88
11	68	75	68	71	79	93	93
12	73	75	70	75	77	97	103
13	73	74	70	74	77	101	100
14	77	74	69	68	73	96	88
15	68	69	71	67	70	96	80
16	63	65	58	61	63	88	69
17	62	55	58	59	62	83	61
18	63	58	62	61	66	80	63

19	70	71	74	66	72	90	75
20	83	89	86	79	82	93	75
21	91	95	93	82	83	87	77
22	83	88	82	80	75	76	72
23	69	72	71	68	63	63	61
24	56	58	57	54	55	56	50

Os consumos ao longo do dia e durante uma semana do reservatório R2 são os apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Consumo do reservatório R2 ao longo de um dia, durante uma semana

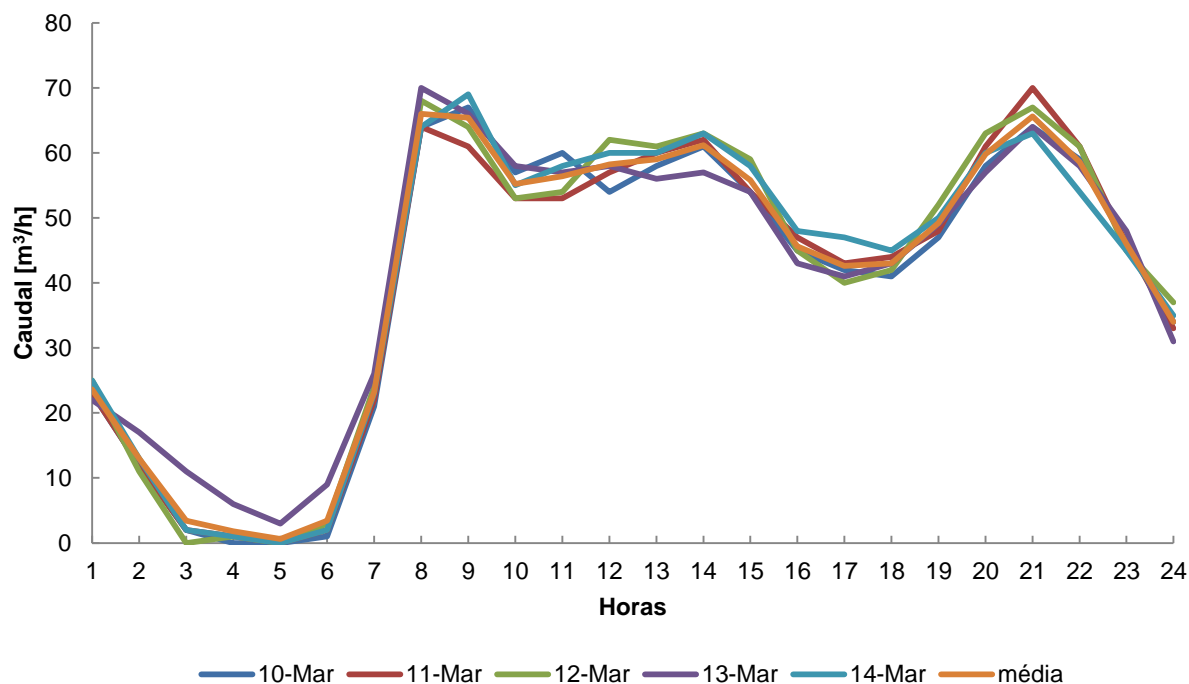
Horas	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo
1	23	23	25	22	25	26	28
2	12	12	11	17	13	19	19
3	2	2	0	11	2	9	11
4	0	1	1	6	1	1	6
5	0	0	0	3	0	1	1
6	1	2	3	9	2	15	2
7	21	22	24	26	23	20	10
8	64	64	68	70	64	31	26
9	67	61	64	66	69	56	44
10	57	53	53	58	55	68	68
11	60	53	54	57	58	70	80
12	54	57	62	58	60	79	81
13	58	60	61	56	60	81	80
14	61	62	63	57	63	74	71
15	54	54	59	54	58	71	64
16	45	47	45	43	48	61	52
17	42	43	40	41	47	54	43
18	41	44	42	43	45	56	47
19	47	48	52	49	50	55	56
20	58	61	63	57	60	62	57
21	64	70	67	64	63	61	59
22	59	61	61	58	54	53	54
23	46	46	45	48	45	42	44
24	34	33	37	31	35	35	32

De referir que os consumos destes dois reservatórios são na mesma semana.

Analisando os consumos dos dois reservatórios, verifica-se um aumento do consumo no fim-de-semana, situação já esperada, pelo permanecer de grande parte da população nas habitações e por serem dias em que as pessoas normalmente colocam as máquinas de lavar em funcionamento e

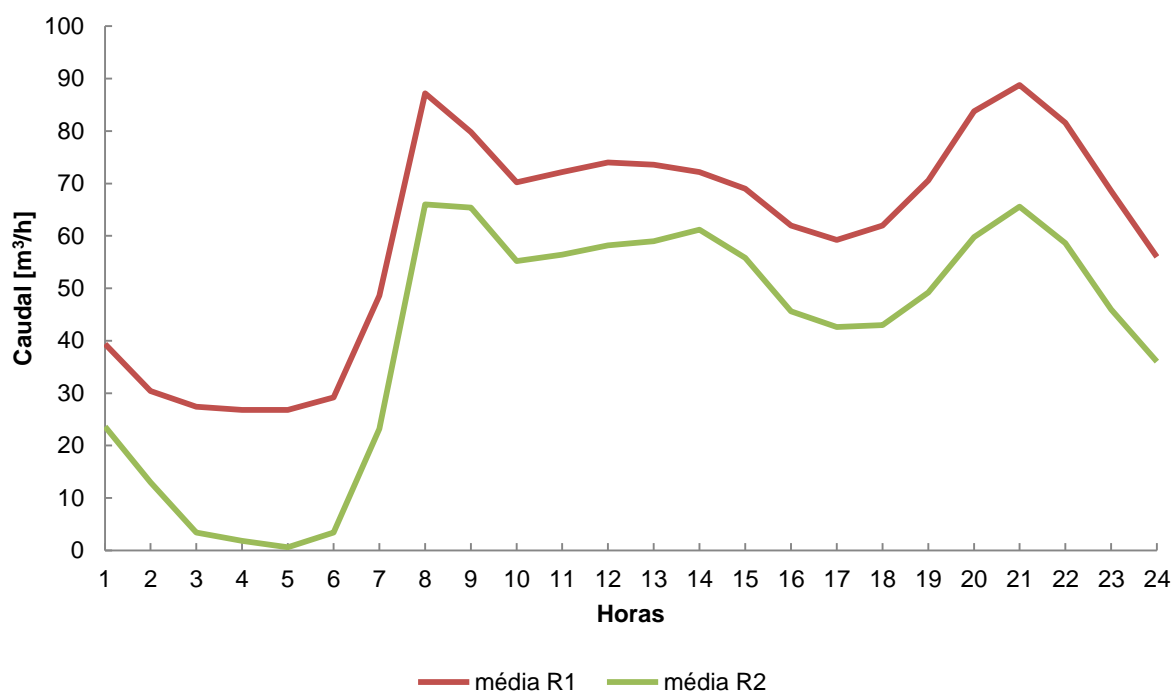
procedem à limpeza das habitações. Os maiores consumos ao longo do dia constam-se nos períodos [8,9] h; [11,14] h; [20,22] h, o que também já era de esperar, pois são horas de refeições e outras práticas de higiene, propícias ao consumo de água.

Para a análise do perfil dos consumos dos dois reservatórios em questão, deixou-se de parte os consumos do fim-de-semana, por serem bastante diferentes dos consumos durante os dias úteis, e verificou-se que a média dos consumos horários de cada dia apresenta um comportamento idêntico aos vários consumos horários de cada dia, como é possível visualizar no Gráfico 5.1, para o caso do reservatório R2.



Graf. 5.1 – Consumo do reservatório R2 ao longo de um dia, durante uma semana

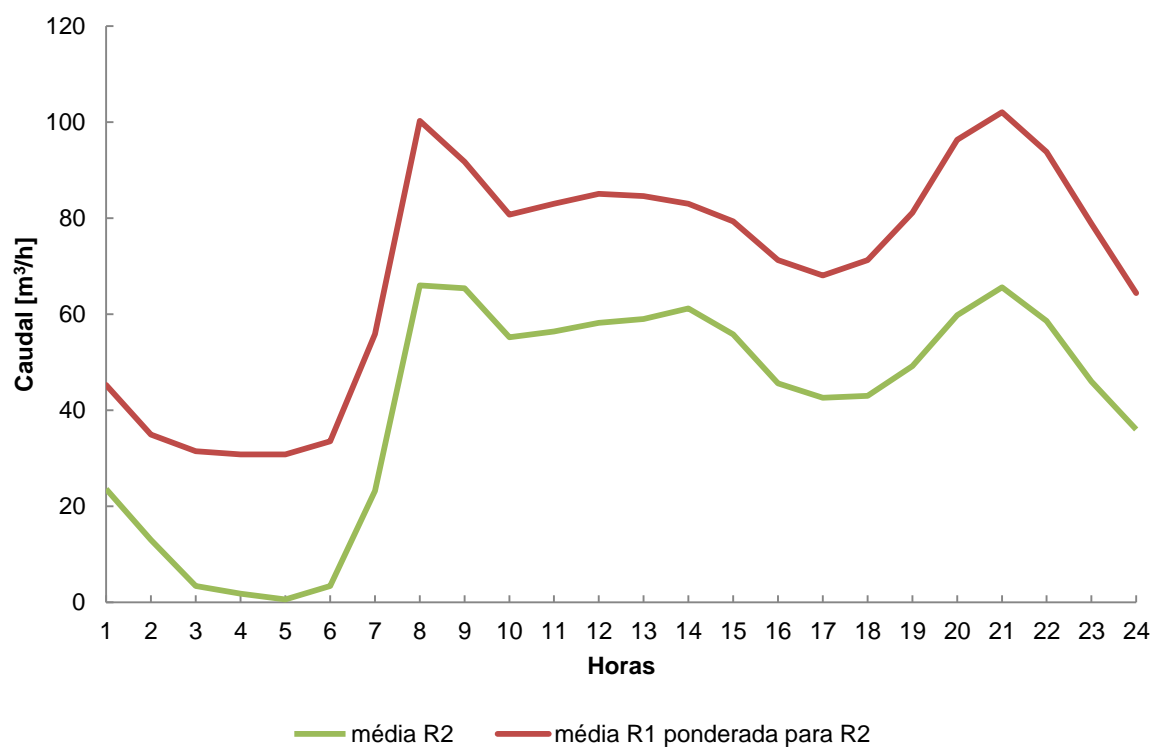
Utilizando, agora, para comparação dos consumos dos dois reservatórios as médias dos consumos horários, obtém-se o Gráfico 5.2.



Graf. 5.2 – Média dos consumos dos reservatórios R1 e R2 de uma semana, ao longo de um dia

Analisando o Gráfico 5.2, consta-se que o comportamento do consumo ao longo do dia nos dois reservatórios é idêntico, no entanto o reservatório R2 apresenta um consumo bem menor, com consumos noturnos normais, ou seja, perdas de água muito próximas dos valores ótimos, pelo que serve de exemplo para o reservatório R1.

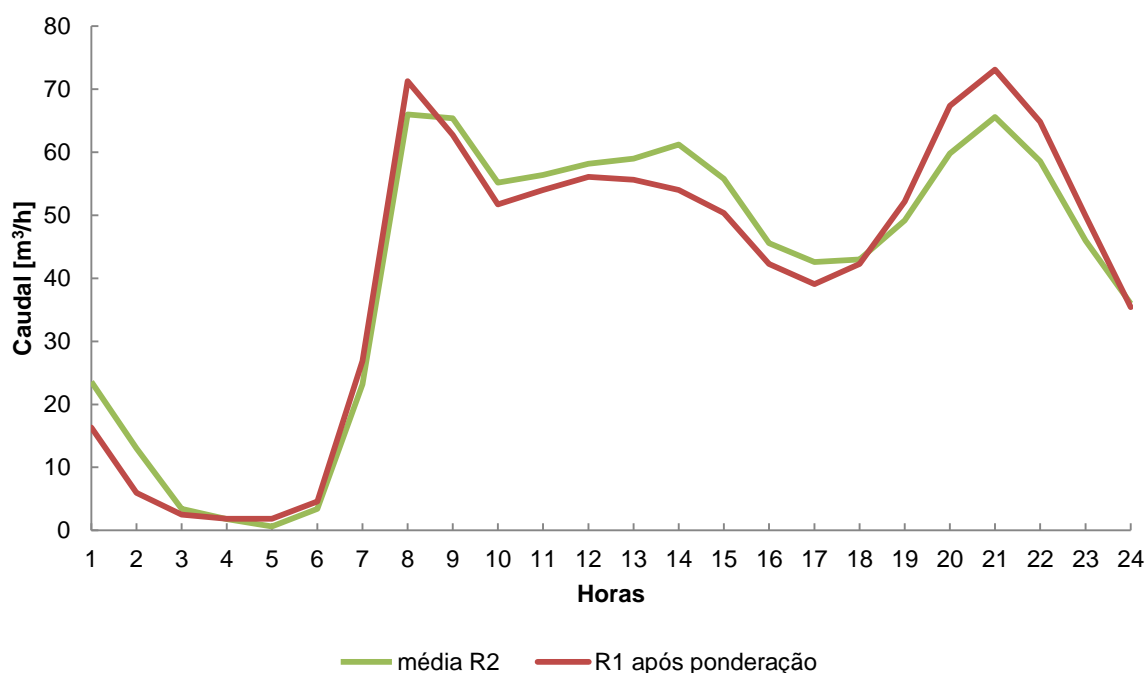
Ainda não foi referido, mas o número de clientes destes dois reservatórios é diferente. O reservatório R1 abastece cerca de 4000 clientes, sendo que o reservatório R2 abastece cerca de 4800. Assim, seria de esperar um consumo superior no reservatório R2, o que não se verifica pela análise dos consumos. Contudo, para se estabelecer uma comparação fiável terá de se utilizar um coeficiente de ponderação de 1,15, pelo que o reservatório R2 deveria ter consumos 1,15 vezes superiores ao R1. No Gráfico 5.3 consta o consumo médio dos dois reservatórios com a ponderação da média do R1 para o R2. No caso perfeito, as duas curvas de consumo deveriam coincidir, no entanto, como o consumo do reservatório R1 já é superior, depois de realizada a ponderação as duas curvas ainda se encontram mais distantes.



Graf. 5.3 – Média dos consumos dos reservatórios R2 e R1 ponderado, de uma semana, ao longo de um dia

Com a intenção de verificar o excesso de consumo do reservatório R1 fez-se a diferença dos dois consumos, concluindo-se que o reservatório R1 apresenta, em média, um consumo de 29 m³ superior ao consumo do reservatório R2 em cada hora.

Fazendo-se a diferença do consumo ponderado de R1 com o consumo médio obtido anteriormente, obtém-se o que deveria ser o comportamento de R1, como se apresenta no Gráfico 5.4.



Graf. 5.4 – Média dos consumos dos reservatórios R2 e R1 após ponderação, de uma semana, ao longo de um dia

Depois da análise conclui-se que a zona abastecida pelo reservatório R1 poderá estar com um índice de perdas elevado, até porque o normal do consumo noturno é de 2l/hora/cliente. Como o número de clientes é cerca de 4000, esperava-se um consumo noturno a rondar os 8 m³, o que não se verifica. Assim, é de suspeitar a existência de aproximadamente 29 m³ de água perdida por cada hora.

Como estamos perante um caso de índice de perdas bastante elevado seria boa prática proceder à implementação de ZMC na zona abastecida pelo R1, até porque não é possível localizar com facilidade as potenciais fugas existentes devido à extensão da rede.

5.2. DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DE ZMC

Com vista ao controlo das potenciais perdas associadas ao reservatório R1 definiram-se critérios para delimitação de ZMC. Para a delimitação de ZMC é necessário ter em conta vários aspetos, como são exemplo a pressão na rede antes e após a implantação de uma ZMC, a sua dimensão, a densidade populacional das diferentes zonas, a densidade de ramais, o estado de conservação das condutas, os diferentes usos existentes e a altimetria da zona.

5.2.1. FRONTEIRA DE ZMC

Para a obtenção da fronteira de um sistema de medição zonada é necessário recorrer à planta da zona com as respetivas condutas e acessórios. Analisando conduta a conduta, partindo de zonas com menor densidade de ramais, e identificando todas as válvulas de corte, descarga e limites de zona é possível unir de uma forma progressiva os vários pontos que limitam a zona. Se necessário, em caso de existência de várias condutas em paralelo, deve deslocar-se ao local de forma a confirmar o incluir ou não de alguns ramais na zona. Este tipo de trabalho, quando acompanhado por alguém que já tem um

bom conhecimento da rede, torna-se relativamente mais simples, pois há vários casos que suscitam dúvidas. Por exemplo, a zona em redor de um reservatório, por norma, não é abastecida por ele, mas sim por outro localizado a uma cota superior, para que o abastecimento se realize em gravidade, sem problemas de pressão ou caudal. Assim, geram-se confusões nas imediações dos reservatórios, principalmente quando estes se encontram em zonas fortemente habitadas.

5.2.2. GARANTIA DA PRESSÃO NA REDE

Antes de qualquer divisão definitiva da rede, deve estudar-se a pressão na mesma. Cada ZMC deve garantir a pressão mínima de serviço na rede, pressão máxima e manutenção de um nível de pressão estável, como já foi referido em 2.1.2.3.

5.2.3. DIMENSÃO DE ZMC

Todos os fatores enunciados influenciam o número de entrada de caudal, no entanto, por razões de economia, procura-se reduzir ao máximo este número. Assim, se por um lado a divisão em pequenas ZMC se traduz em custos mais elevados, devido à necessidade de utilização de um elevado número de válvulas e medidores, por outro, a gestão do sistema torna-se bastante mais dispendioso à medida que a dimensão das ZMC aumenta devido à dificuldade de identificar e localizar as perdas de água e de as manter em níveis satisfatórios. A dimensão da rede também influencia a escolha da melhor solução uma vez que a setorização de pequenos sistemas de distribuição de água pode ser facilmente alcançado, sendo que à medida que a complexidade da rede aumenta, o processo torna-se cada vez mais complicado e oneroso uma vez que necessita de recursos cada vez mais especializados. Deve-se, então, ter em conta a análise do custo/benefício entre as diferentes soluções alternativas.

Inicialmente é preferível uma divisão em vários setores de grande dimensão (entre 10000 a 50000 ramais), permitindo o controlo da pressão e a minimização dos problemas associados à qualidade da água. Posteriormente procede-se a uma maior divisão tendo em conta os fatores enunciados anteriormente, dizendo a experiência que em áreas urbanas a dimensão média para as ZMC deve estar compreendida entre 500 a 3000 ramais.

5.2.4. DENSIDADE DE RAMAIS

A densidade de ramais influencia a dimensão de ZMC, uma vez que uma elevada densidade pode ser sinónimo de elevados consumos numa pequena área, procedendo-se à divisão tal e qual à indicada no ponto anterior.

Contudo, no caso de zonas com baixa densidade de ramais, pode optar-se por uma divisão tendo em conta a extensão de rede, pelo fato de o custo de localização de fugas estar mais relacionado com o comprimento da rede do que com o número de ramais. Assim, os valores recomendados apontam para os 5 a 10 Km de rede, podendo atingir valores superiores no caso de redes de grande dimensão. É de salientar que cada setor deve ser abastecido por um único ponto de alimentação, conduzindo a um menor erro de medição dos caudais e a uma melhor compreensão por parte dos operadores do sistema.

5.2.5. ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS CONDUTAS

O estado de conservação das condutas é dado essencialmente pela idade e tipo de material destas. Uma conduta mais antiga acarreta maior probabilidade de existência de fugas e roturas, para o mesmo

material e condições de funcionamento. Assim, o cadastro das várias condutas que integram a rede de abastecimento torna-se essencial, pois é possível localizar as zonas onde há maior probabilidade de ocorrência de perdas de água.

No caso de ZMC, tende-se, se possível, a agrupar as condutas que apresentam o mesmo estado de conservação, para que quando se pretende proceder a reparações e/ou substituições de condutas não se afete várias zonas distintas, podendo dar aso a várias reclamações e até, em situações extremas, à própria destruição ou danificação de outras condutas devido às várias oscilações da pressão. Contudo, a aplicação deste critério não é tarefa fácil e raramente é possível, uma vez que há outros fatores que impedem a sua concretização.

5.2.6. USOS EXISTENTES

O padrão de consumo de uma zona industrial, por exemplo, pode ser bastante diferente do padrão de uma zona destinada à habitação, uma vez que há várias indústrias que funcionam durante todo o dia, podendo levar a consumos noturnos que não podem ser rotulados como perdas de água verificadas no sistema. Os grandes consumidores, como hospitais, complexos desportivos e ginásios, também devem ser identificados e ter um acompanhamento diferente dos restantes, uma vez que representam muito na fatura de uma EG. Assim, a sua separação, caso estes se encontrem já agrupados, é de boa prática, podendo analisar-se separadamente da restante rede.

5.2.7. ALTIMETRIA

O estudo da altimetria da zona é fundamental, uma vez que esta afeta a pressão. Assim, em zonas com cotas altimétricas elevadas as pressões são baixas, principalmente em períodos de consumos elevados, e, pelo contrário, em zonas com cotas altimétricas baixas as pressões são demasiado elevadas, essencialmente durante o período noturno, período normalmente de menor consumo na rede. Aconselha-se a agrupar as zonas com altimetria idêntica para que a pressão possa ser regulada na entrada e não haja grandes oscilações desta.

5.2.8. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE ZMC

Um exemplo de um sistema de medição zonada encontra-se representado na Figura 5.1, com 3 zonas principais, estando a zmc 2 subdividida em duas subzonas. As válvulas apresentadas encontram-se fechadas impedindo a passagem de caudal entre as divisões. Em cada entrada da subdivisão encontra-se um medidor de caudal, obtendo-se os consumos típicos e o caudal nos instantes desejados.

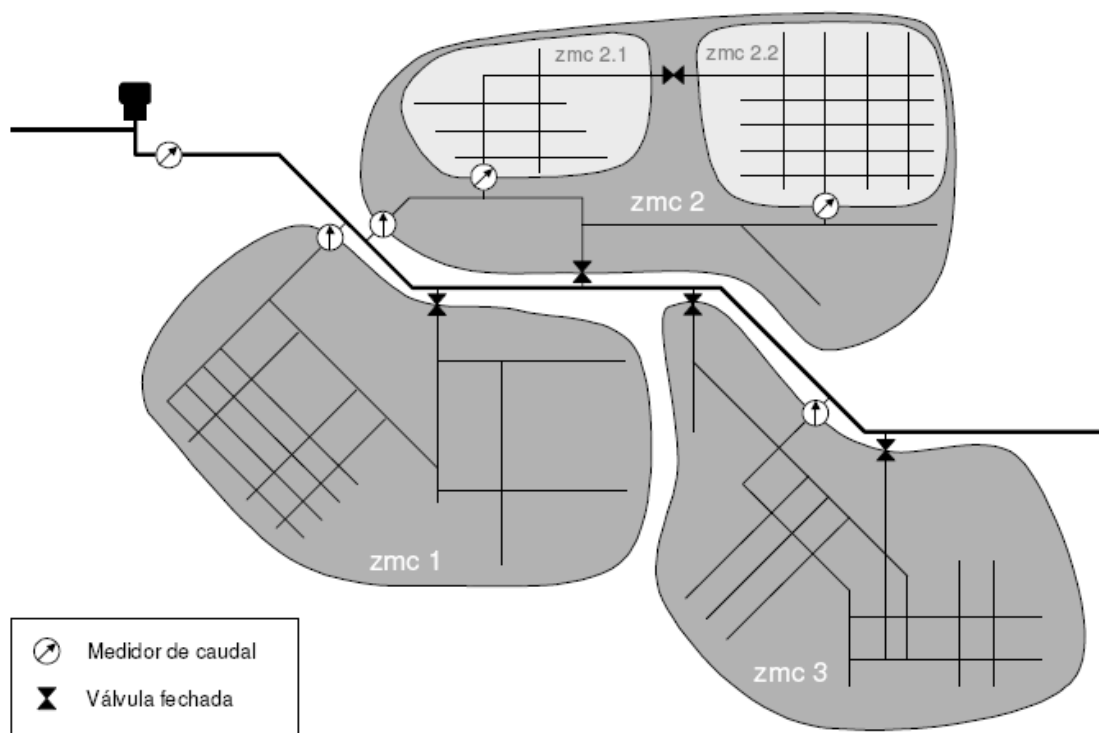


Fig. 5.1 – Sistema de medição zonada (ALEGRE, *et al.*, 2005)

Após a definição da topologia e condições de fronteira de cada ZMC, é do interesse das EG proceder à sua validação. A implementação e verificação da integridade de cada ZMC são conseguidas através da medição da pressão dentro e fora da ZMC. O método consiste na avaliação progressiva da pressão do diferencial de pressão entre a ZMC e as zonas adjacentes, em função das perdas de água e do consumo na rede. Caso se registre uma redução da pressão no interior da ZMC significa que esta estará, à partida, isolada. Por outro lado, em caso de aumento da pressão, significa que efetivamente existe uma ligação desconhecida entre a ZMC e uma zona adjacente. É importante identificar possíveis ligações clandestinas e perdas de água dentro da ZMC.

5.3. ZMC RESERVATÓRIO R1

Para a aplicação dos critérios anteriormente definidos procede-se a um estudo pormenorizado da zona abastecida pelo reservatório R1. Trata-se de uma zona que apresenta uma rede mista, com uma extensão elevada, densidade populacional reduzida, logo densidade de ramais reduzida na maior parte da rede e com zonas que apresentam ocupações não residenciais. As cotas altimétricas variam entre os 65m e os 225m, podendo ser um fator verdadeiramente importante aquando da delimitação de ZMC, uma vez que condiciona fortemente a pressão, logo o bom funcionamento e desempenho dos equipamentos e acessórios. O reservatório R1 tem capacidade de 3000 m³, cota de soleira de 180m e alturas de água a variar entre os 5 e os 6 m.

Antes de qualquer análise da zona em causa é necessário definir a fronteira da ZMC. Para tal, e com a ajuda da planta da zona, analisam-se as ligações das várias condutas definindo-se a fronteira através do estabelecimento da ligação dos vários pontos onde as condutas abastecidas pelo reservatório

terminam. O limite exterior da zona bem como as condutas da mesma encontram-se representados na Figura 5.2.

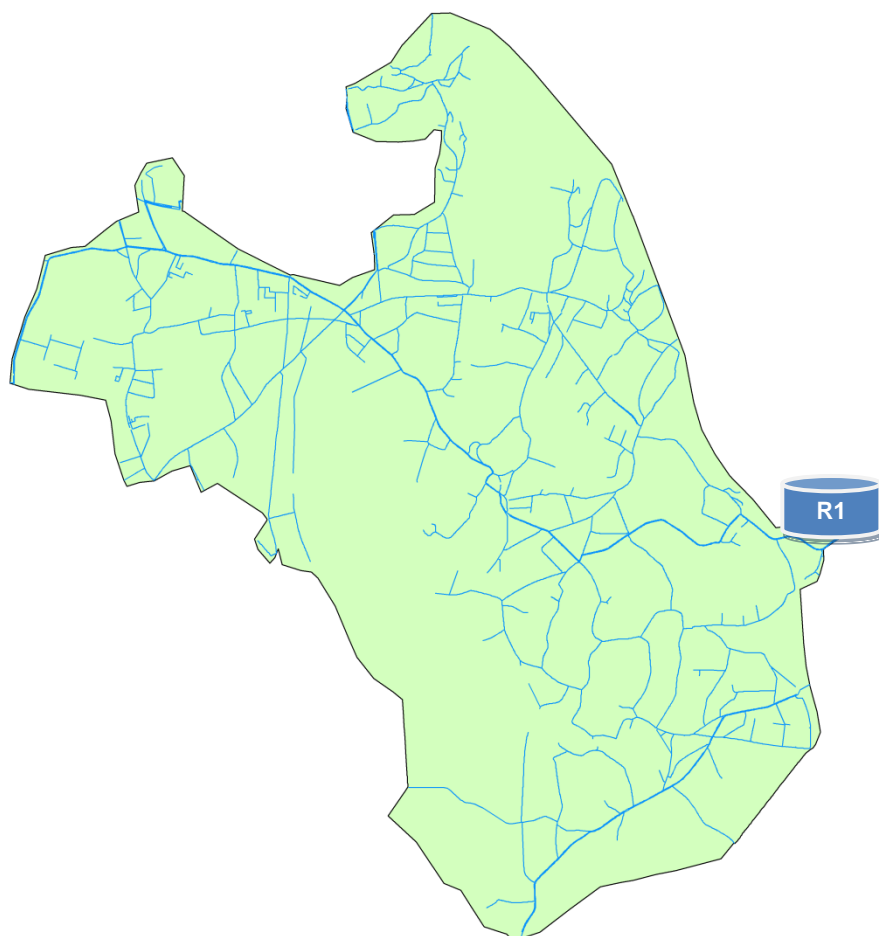


Fig. 5.2 – Limite exterior e condutas do R1

Neste caso, na validação da ZMC, poderá ser necessário proceder à medição da pressão junto à fronteira da ZMC, tanto no interior como no exterior, para se verificar a estanqueidade desta, uma vez que há condutas com válvulas de corte com visto ao limite de zona. É perfeitamente normal, existirem válvulas não totalmente fechadas, possibilitando a passagem de caudal entre zonas, impedindo o bom funcionamento da ZMC.

A zona em estudo apresenta cotas altimétricas a variar dos 65 aos 225 metros, como é possível observar na Figura 5.3, constatando-se a existência de uma subzona com altimetria mais baixa, relativamente a toda a rede e com consequente válvula redutora de pressão incorporada. Parte-se, assim, desta mesma subzona para se proceder à medição zonada, uma vez já controlada a pressão. A válvula redutora de pressão instalada tem como objetivo a redução da pressão no período noturno, visto atingirem-se pressões demasiado elevadas neste período. O investimento a realizar é assim minimizado e o bom funcionamento da rede é garantido.

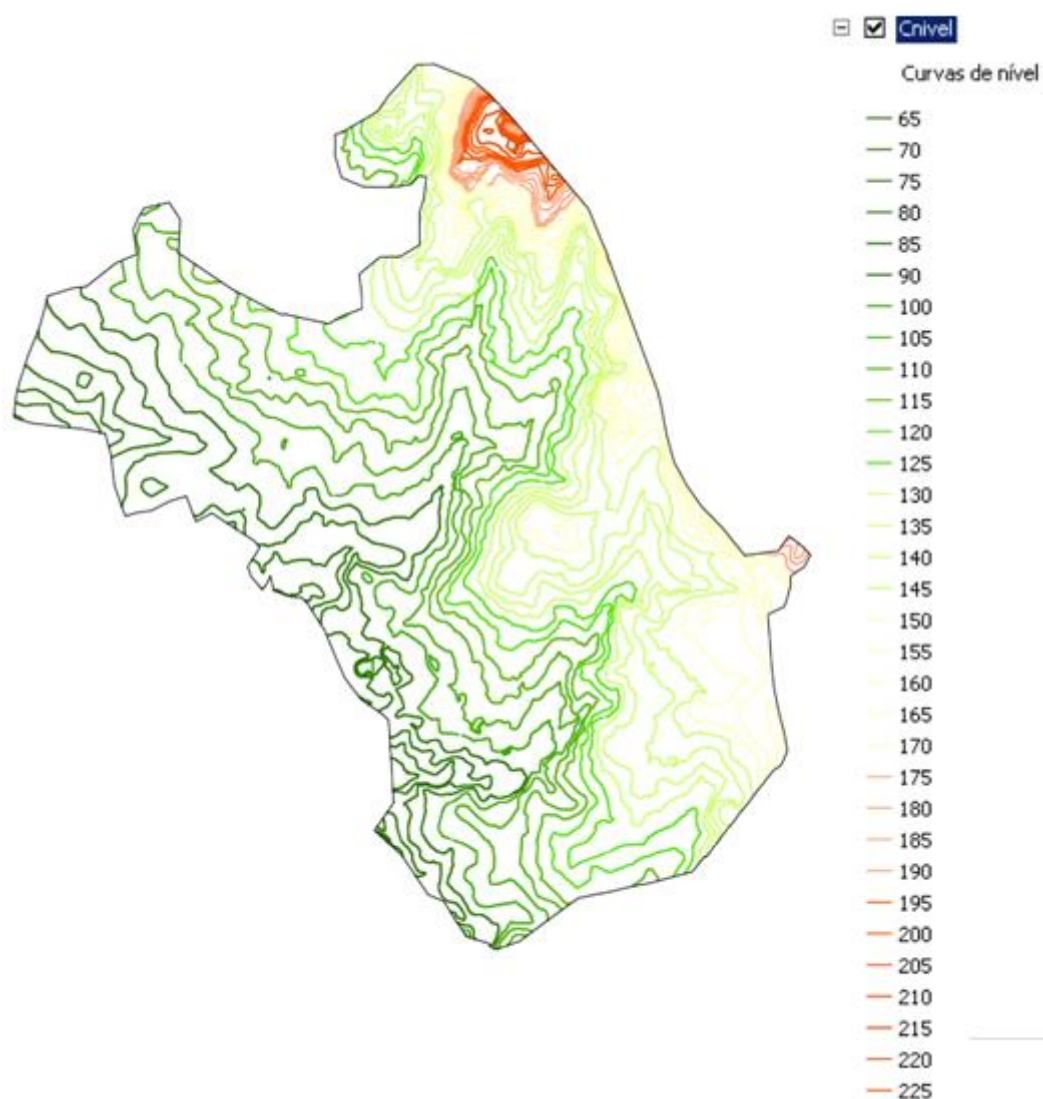


Fig. 5.3 – Curvas de nível da zona abastecida pelo R1

Na Figura 5.4, apresenta-se a zona referida anteriormente, identificando-se o local de colocação do medidor que coincide com o local onde se encontra a válvula redutora de pressão. A existência de um único medidor na zona é mais um aspeto positivo a referir uma vez que conduz à redução do erro de medição e a uma melhor interpretação dos caudais medidos.



Fig. 5.4 – Área abrangida pela ZMC R1Z1 (GOOGLE EARTH)

Tendo em conta os diferentes usos existentes na zona, identifica-se a existência de uma pequena subzona industrial, também ela mais baixa relativamente à maioria da zona em causa, encontrando-se nesta zona o ponto mais baixo de toda a rede, com 65 metros. Pela análise dos caudais, conclui-se ser oportuno separar a subzona das restantes, uma vez que estes apresentam um comportamento diferente ao longo do dia. Esta zona também servirá de estudo para o caso da pressão, pois poderá apresentar pressões demasiado elevadas principalmente durante o período noturno, período de menor consumo na rede. Na Figura 5.5 pode observar-se a zona em causa bem como o local de posterior instalação do medidor. Tal como na ZMC anterior, também nesta a entrada de caudal é realizada por um único local, apresentando-se, com isto, as mesmas vantagens.



Fig. 5.5 – Área abrangida pela ZMC R1Z2 (GOOGLE EARTH)

Assim, logo à partida, são definidas duas subzonas, com um número de clientes reduzido mas com características diferentes relativamente a toda a rede, como é possível observar na Figura 5.6.

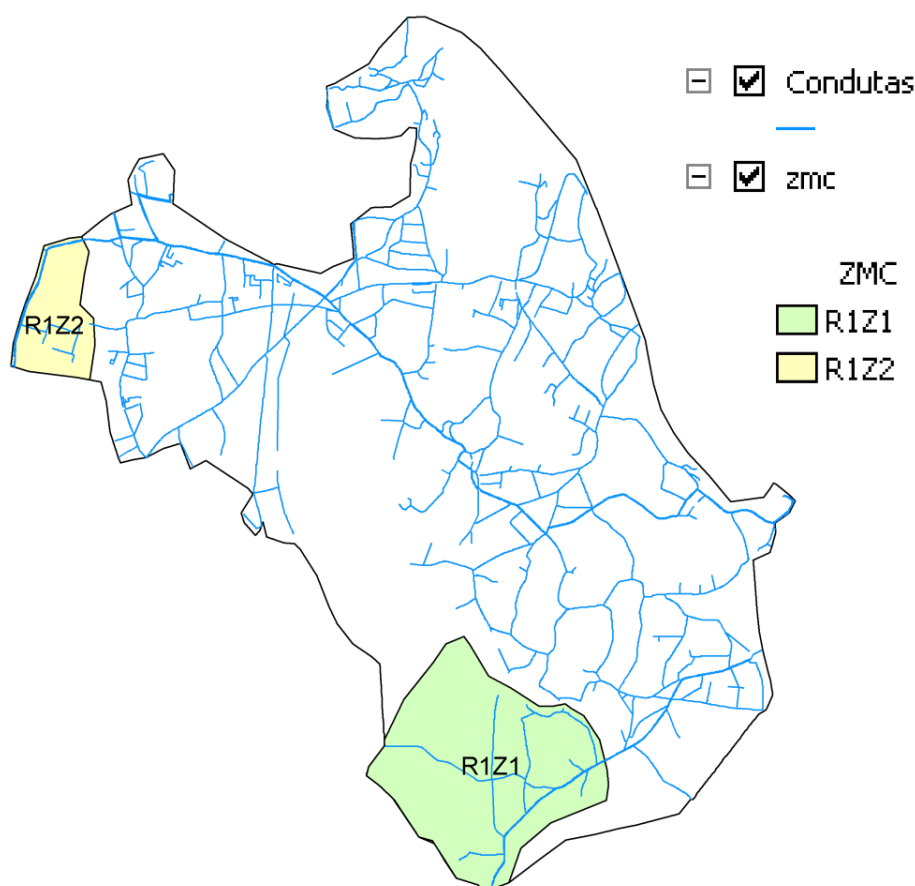


Fig. 5.6 – ZMC R1Z1 e R1Z2

Para a análise da restante zona utilizou-se o Microsoft Access pois possibilita a ligação do consumo das várias instalações ao longo do tempo às várias subzonas em estudo. Com o número de instalação é possível analisar os consumos mensais de cada ZMC, previamente definidas. Assim, o consumo mensal faturado das duas ZMC do R1, retirado do sistema de faturação e organizado através do Microsoft Access, é o apresentado no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Consumos ZMC R1Z1 e R1Z2

ZMC	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
R1Z1	264	278	273	305	323	300	307	506	360	308	301	234
R1Z2	432	401	335	461	443	574	455	766	527	936	630	538
R1ZZ	26554	22719	24651	27816	26782	24440	26858	33489	29158	24730	28857	24165

Apesar dos consumos das ZMC R1Z1 e R1Z2 serem baixos comparativamente ao consumo total, apresentando uma percentagem de aproximadamente 3%, pelas características encontradas, pensa-se ser uma boa divisão.

Com isto, e depois de obtidas as duas zonas anteriores resta analisar a zona restante. Como o número de ramais e a extensão da rede ainda são elevados, é necessário proceder a pelo menos mais uma divisão, para que se cumpra o número de ramais por ZMC.

A zona restante, relativamente ao uso, é maioritariamente habitacional, não sendo, por isso, possível proceder a qualquer divisão. As cotas altimétricas vão aumentando de Oeste para Este, havendo toda a vantagem em incluir toda a zona fronteiriça Este na mesma ZMC. Um outro aspeto a poder ter-se em conta é o estado de conservação das condutas, no entanto, por falta de cadastro não é possível tirar qualquer conclusão. A densidade de ramais é mais ou menos idêntica em toda a zona, contudo há uma pequena zona onde se identifica uma densidade superior, pela existência de um número elevado de habitações numa pequena área (Figura 5.7), logo, à partida, numa tentativa de equilibrar o número de ramais, a ZMC que inclua esta subzona terá uma menor área.

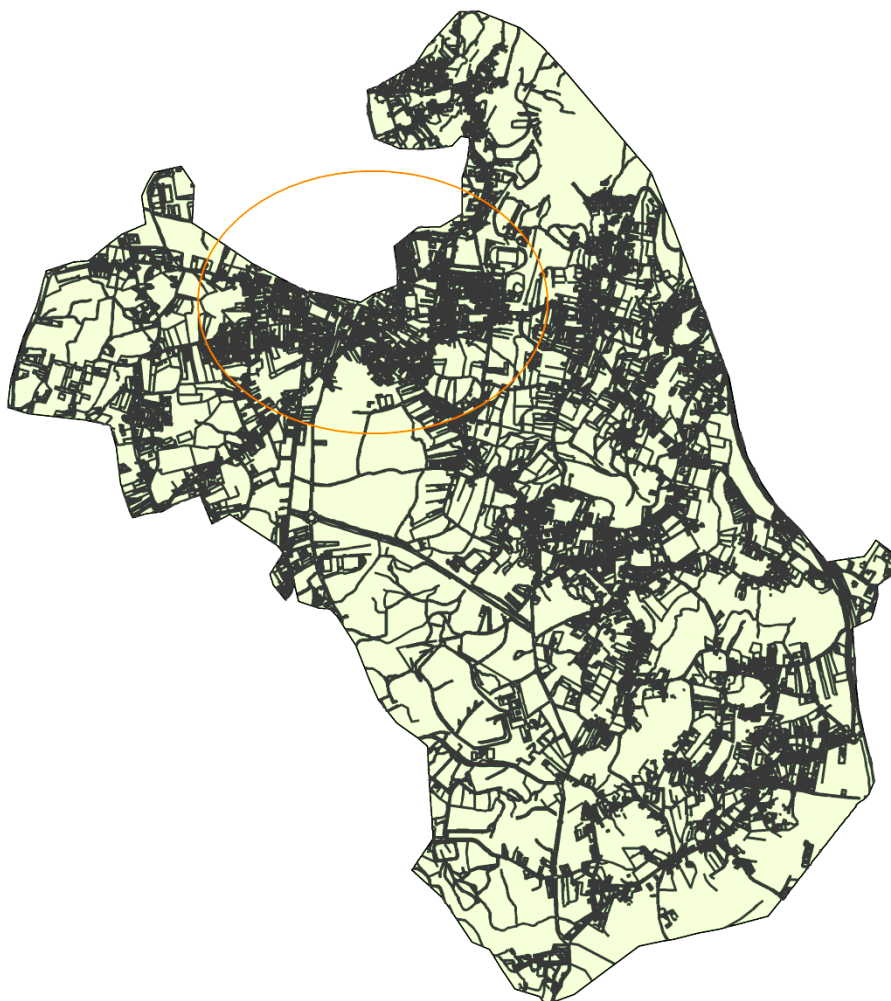


Fig. 5.7 – Edificações da zona abastecida pelo R1

Sendo a rede maioritariamente ramificada, somente emalhada em alguns locais, facilita a escolha dos pontos da colocação do medidor, tornando-se possível formar ZMC com um número reduzido de entradas de caudal.

Após a análise de todos estes critérios, teve-se em conta os consumos da zona restante, verificando-se que com um comportamento muito idêntico ao longo de toda a zona o ideal seria dividir o consumo em partes mais ou menos iguais, de forma também a respeitar os critérios anteriormente anunciados, tal como se mostra no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Consumos R1Z3 e R1Z4

ZMC	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
R1Z3	12910	12675	10406	14166	13010	12243	13177	16499	12972	13072	12632	13089
R1Z4	13644	10044	14245	13650	13772	12197	13681	16990	16186	11658	16225	11076
Total	26554	22719	24651	27816	26782	24440	26858	33489	29158	24730	28857	24165

Assim, obtiveram-se as duas restantes ZMC, representadas na Figura 5.8.

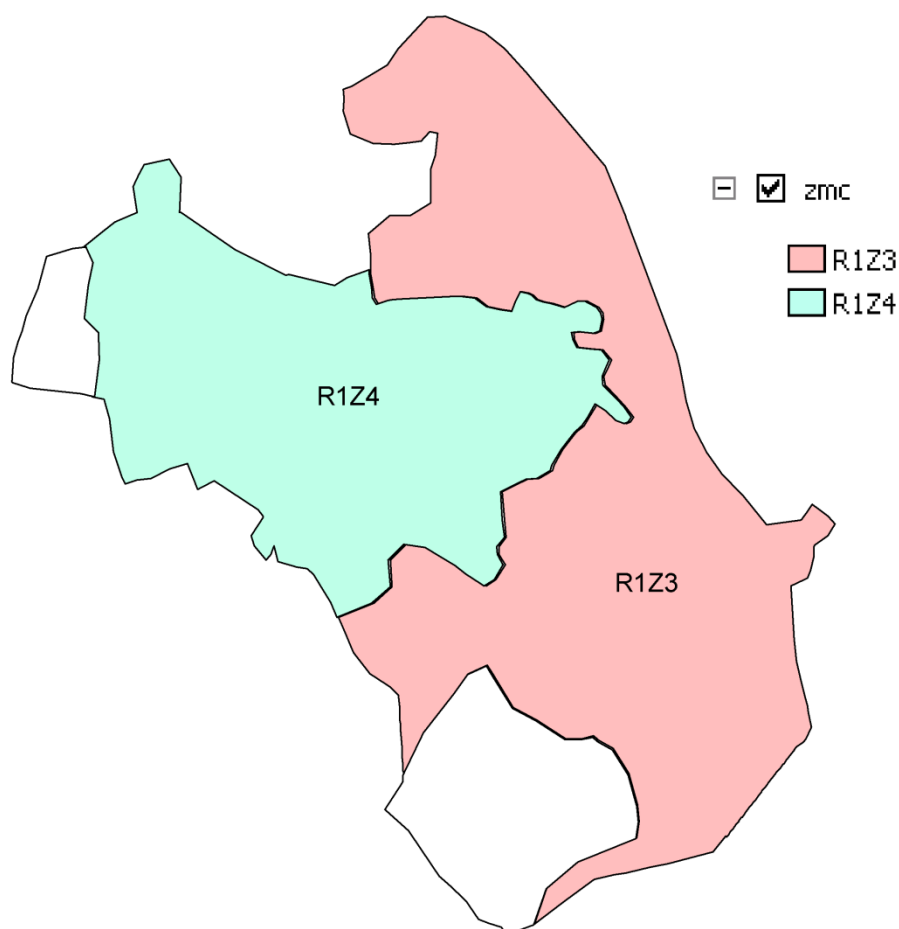


Fig. 5.8 – ZMC R1Z3 e R1Z4

Com um estudo criterioso das várias situações possíveis de consumos ao longo do tempo é possível prever a necessidade ou não da utilização de medidores reversíveis, isto é, de medidores capazes de efetuarem a cotagem de caudal em ambos os sentidos. Caso haja a possibilidade de não utilizar medidores reversíveis, para além da diminuição dos custos associados a estes também se reduz o erro de medição associado a estes. Contudo, com a possível evolução da edificação da zona, ocorre a alteração do comportamento dos caudais, podendo gerar alterações do sentido de escoamento. Assim,

no caso de se tratar de uma rede emalhada, será boa política aplicar medidores reversíveis, garantido, com isto, o bom funcionamento do sistema no futuro. A localização dos medidores bem como a maioria da rede encontram-se na Figura 5.9.

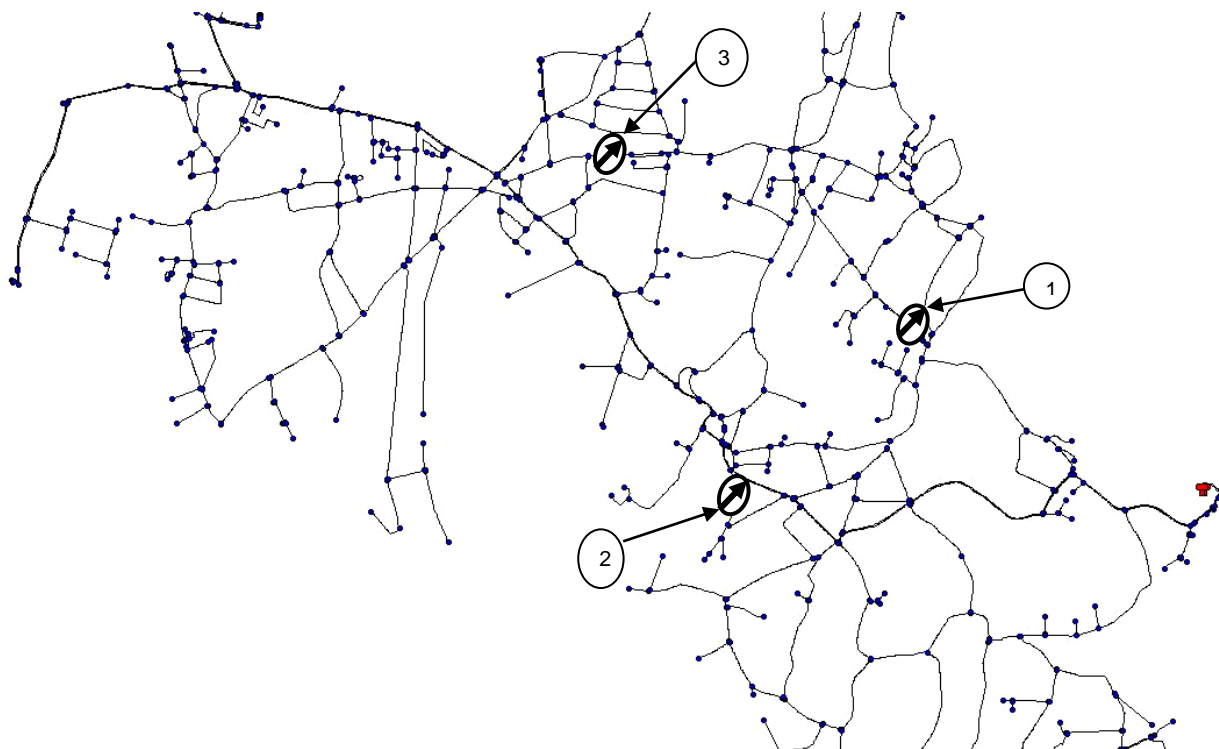


Fig. 5.9 – Pontos de localização dos medidores

Os medidores 1 e 2 permitem obter os caudais de entrada na ZMC R1Z4. No entanto os caudais da ZMC R1Z2 também poderão ser contados por estes dois medidores. Assim, será necessário subtrair o caudal medido no medidor de entrada de R1Z2 ao caudal de passagem destes dois medidores. Com o objetivo de controlar os caudais de entrada de todas as ZMC definidas, estudou-se a hipótese de escoamento que tem como base a análise dos diâmetros existentes na rede.

Inicialmente numeraram-se os vários medidores existentes. Os três medidores anteriormente representados mantêm os números 1,2,3, sendo que o medidor da R1Z1 assume o número 4, o da R1Z2 o número 5 e o do reservatório o número 6. Pela análise dos vários diâmetros de condutas existentes, como representado na Figura 5.10, prevê-se a passagem de um caudal superior em condutas com diâmetros maiores, logo responsáveis pelo abastecimento de um maior número de clientes.

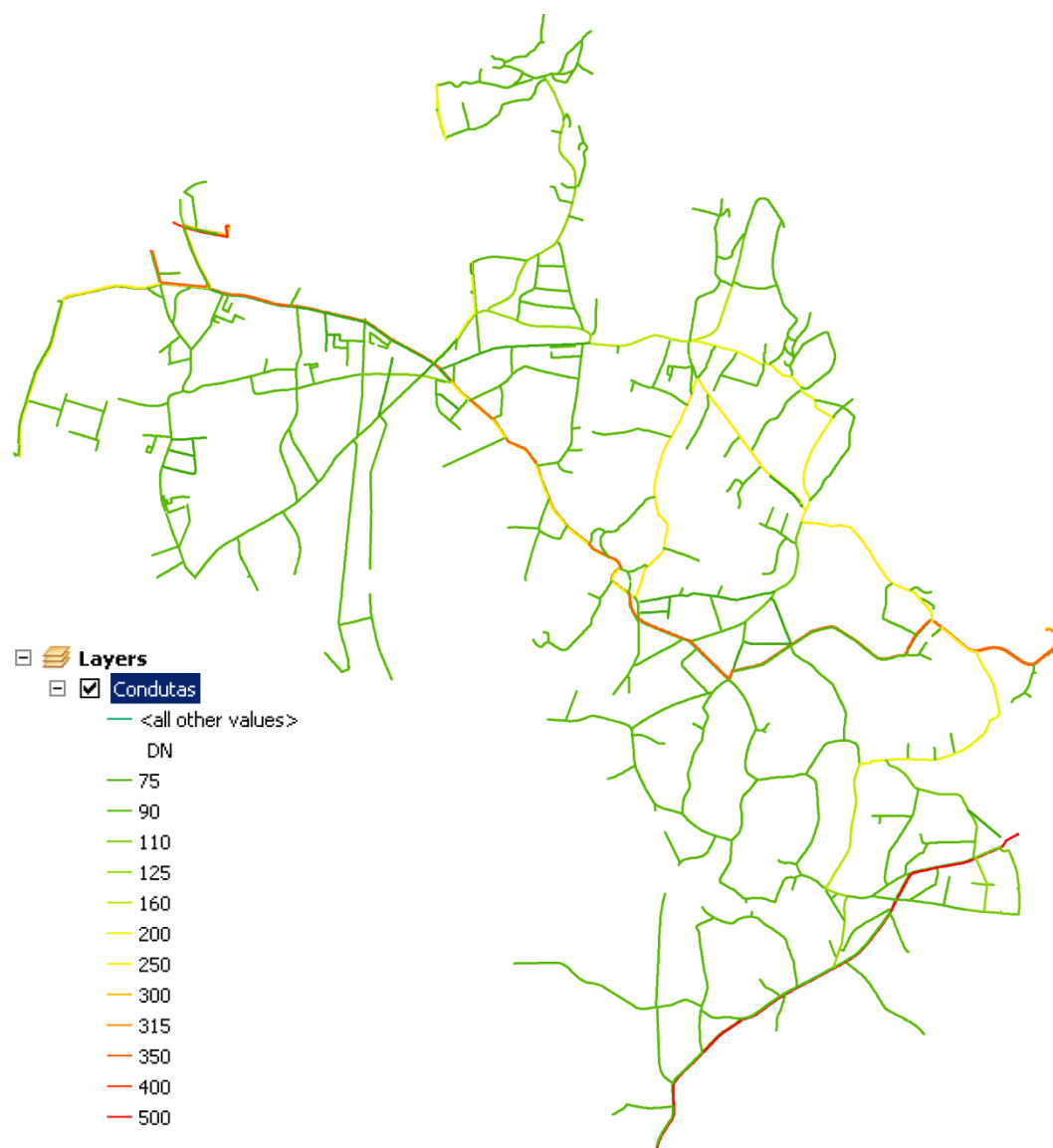


Fig. 5.10 – Diâmetros das condutas do R1

Observando atentamente a figura anterior, fez-se o esquema simples de um possível escoamento a ocorrer na rede, obtendo-se a Figura 5.11.

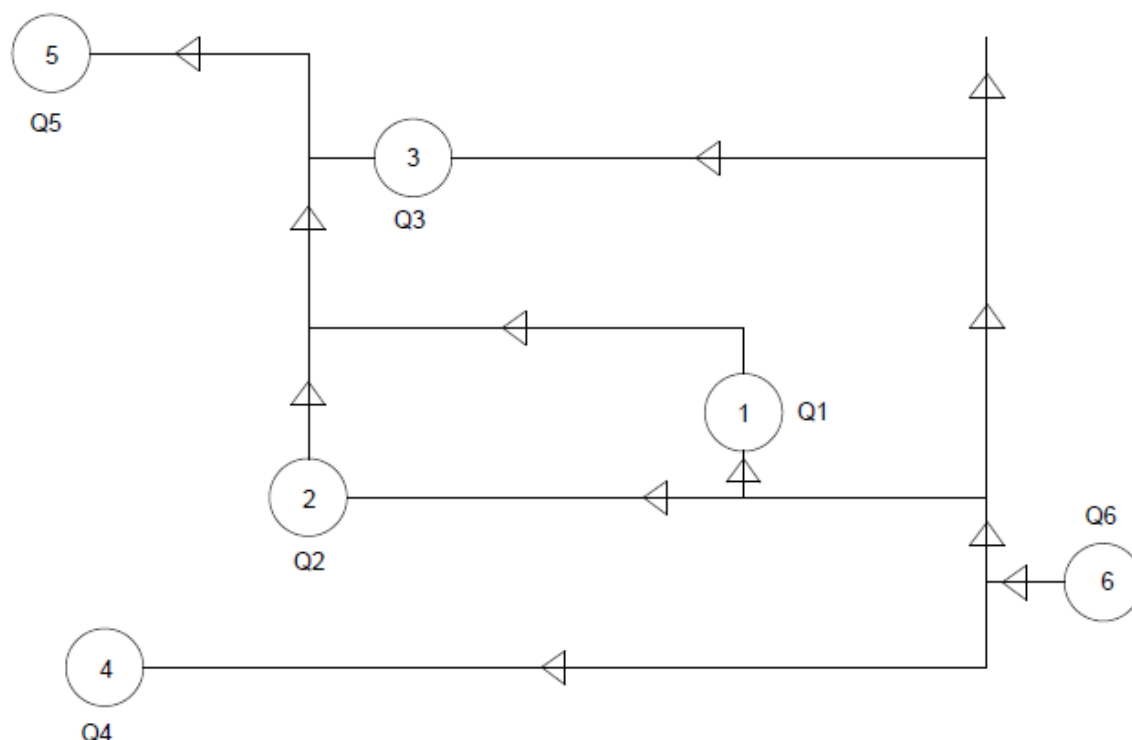


Fig. 5.11 – Esquema simplificado da rede com os respectivos medidores

Caso se verifique o escoamento indicado no esquema, aquando do estudo dos caudais de cada zona, o caudal da ZMC R1Z1 será o medido no medidor 4, o caudal da ZMC R1Z2 será o lido no medidor 5, o caudal da ZMC R1Z3 será o lido no medidor 6 subtraído da soma das leituras dos medidores 1,2,3 e 4 e o caudal da ZMC R1Z4 será a soma do medido nos medidores 1,2 e 3 subtraído do medidor 5, ou seja:

- $Q_{R1Z1}=Q_4$
- $Q_{R1Z2}=Q_5$
- $Q_{R1Z3}=Q_6 - (Q_1+Q_2+Q_3+Q_4)$
- $Q_{R1Z4}=Q_1+Q_2+Q_3-Q_5$

Depois de colocados os medidores deve proceder-se ao estudo destes caudais ao longo do dia, com a ajuda preciosa do sistema de telegestão. O ponto de partida passa pela calibração dos vários componentes para que os dados lidos no sistema sejam o mais real possível, de forma a reduzir o erro. Após a calibração deve haver pelo menos um responsável pela inspeção diária do sistema, com vista à identificação das várias anomalias que poderão ocorrer. A análise crítica do CMN pode proporcionar a descoberta de uma nova fuga ou rutura. Assim, depois de padronizados todos os valores de caudal diários é importante lançar rapidamente uma alerta em caso de variação desses valores, para que com a ajuda de equipamentos de deteção seja verificada a existência ou não de novas fugas ou roturas nas condutas.

O extravasamento de água no reservatório ou até mesmo a existência de fissuras neste poderão ser praticamente logo identificados caso haja medidores de caudal à entrada e saída do reservatório. Assim, caso haja uma contínua entrada de caudal no reservatório (adução) sem distribuição deste caudal, é porque está a ocorrer uma ou até ambas as anomalias.

A solução final, depois de analisados os vários critérios definidos, é a apresentada na Figura 5.12. A análise dos vários cenários ao longo de um dia para as várias alturas do ano com a ajuda da modelação hidráulica é importante uma vez que prevê possíveis anomalias causadas pela divisão da zona. Depois da sua implementação é necessário calibrar os vários equipamentos de forma a ser possível identificar as variações de consumo. A deteção e localização de fugas e roturas é assim mais fácil e rápida, logo o seu tempo de exposição é menor, levando a perdas de água também menores.

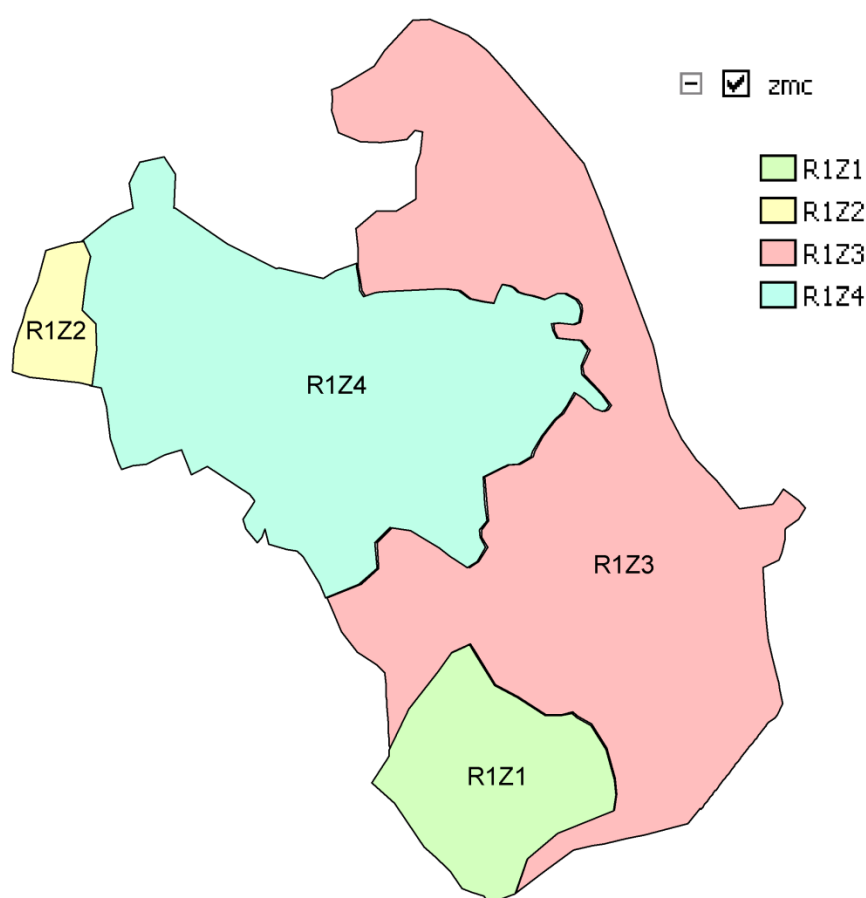


Fig. 5.12 – ZMC R1

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

Um das principais preocupações atuais das EG responsáveis pelo sistema público de abastecimento de água é a elevada percentagem de perdas de água. Contudo, inicialmente, com pouco investimento é possível reduzir estes valores, sendo apenas necessário ter o devido conhecimento da rede e os seus principais problemas.

Numa perspetiva futurista, caso se pretenda atingir valores próximos do ponto ótimo, ou seja, próximos do nível económico de perdas, é necessário recorrer à implementação de ZMC. No entanto, o investimento inicial exigido pode não ser ao alcance de todas as EG, uma vez que requer novos equipamentos, acessórios e pessoal especializado.

A escolha da zona em estudo teve por base a comparação com uma outra zona idêntica, sendo identificados CMN demasiado elevados. Assim, a implementação de ZMC nesta zona permite o estudo deste caudal e a deteção dos locais onde poderão estar a ocorrer as perdas de água.

Para a correta implementação de ZMC é necessário definir critérios. Os diferentes usos, devido à diferença existente entre os consumos dos diversos usos, a altimetria, que condiciona essencialmente a pressão da rede nos períodos de máximo e mínimo consumo, a densidade de ramais e extensão da rede, que não podem ser excedidos para que possam ser identificadas as fugas e roturas com maior precisão, são critérios a seguir. De todos os critérios enunciados não há nenhum que assuma um papel mais relevante, sendo necessário analisar todos eles para que se atinja a melhor solução possível.

A simulação hidráulica, para analisar a velocidade e pressões da rede, que podem sofrer algumas alterações com a implementação de ZMC, devido à possível colocação de válvulas, é um utensílio crucial.

A possibilidade de utilização de um menor número de medidores é um fator positivo uma vez que permite reduzir o erro associado à leitura do caudal.

Posteriormente, e depois da implementação de ZMC, é necessário calibrar os vários equipamentos por forma a criar-se padrões de consumo. Aquando da alteração destes valores, com a existência de ZMC, é possível detetar e localizar as potenciais fugas e/ou roturas existentes numa área restrita, principalmente pela análise do CMN. Assim, dada a velocidade de perceção e localização de fugas, o processo de reparação é muito mais veloz, levando a perdas de água menores uma vez que o tempo de exposição da fuga é significativamente menor.

Em suma, a utilização de ZMC num SAA é um fator preponderante uma vez que permite identificar, detetar e reparar as fugas e/ou roturas num curto espaço de tempo. A principal ineficiência das EG fica assim resolvida. O volume de água adquirido pela EG assume valores significativamente menores mantendo-se o volume faturado. Dá-se com isto, uma melhoria significativa da situação financeira, podendo reduzir-se os tarifários aplicados e ficando fundos disponíveis para outros investimentos necessários, como substituição de condutas, acessórios ou até mesmo reservatórios. Também se podem exigir reservatórios com capacidades e tempos de bombagens inferiores, reduzindo-se custos de energia e material. As ZMC são assim a base do sucesso de uma EG e da satisfação do consumidor.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O produto de uma investigação, por mais desenvolvido que seja, pode ser sempre melhorado. Além disso, depois de atingido um determinado objetivo, outros vão surgindo. Tal como inicialmente proposto, este trabalho culminou com a definição de ZMC numa zona que apresenta as mais variadas características, possibilitando a análise dos vários critérios de implementação de ZMC estabelecidos. Contudo, outros estudos poderão ser realizados nesta área, pelo que se deixam aqui algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Estudo da viabilidade e sustentabilidade económica das ZMC nas redes de distribuição de água, de forma a incluir a incerteza relativamente à evolução do consumo e à degradação das infraestruturas durante o horizonte de projeto. A incerteza associada à evolução do consumo na rede e da taxa de degradação das infraestruturas poderão por em causa a viabilidade e sustentabilidade das ZMC, bem como da qualidade de serviço prestado a médio e longo prazo.
- Estudo da viabilidade e sustentabilidade das ZMC, de forma a incluir parâmetros da qualidade de água. A diminuição das perdas de água através do controlo da pressão nas ZMC e o possível reforço de capacidade de transporte da rede causam problemas na qualidade da água, como o decaimento do cloro e o aumento da idade da água devido à sua permanência na rede. Estes problemas são combatidos com a inclusão na rede de válvulas de descarga. O volume de água descarregado contribui, assim, para o aumento da água não faturada, impossibilitando o concretizar do objetivo inicial.
- Estudo da sustentabilidade e viabilidade das ZMC, de forma a incluir a otimização da válvula redutora de pressão existente. Em SAA, aquando da existência de válvulas redutoras de pressão, a otimização do funcionamento destas é imprescindível, uma vez que os valores da pressão deverão estar dentro do permitido por lei. Assim, o estudo dos vários cenários possíveis, durante os períodos de maior e menor consumo, é crucial para que se atinjam as perfeitas condições de abastecimento.
- Implementação real das ZMC definidas. Sugere-se a implementação das ZMC definidas no reservatório R1, de forma a demonstrar na prática a sua viabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águas e Parque Biológico de Gaia, EEM. (2013). *Relatório & Contas 2012*. Águas e Parque Biológico de Gaia, EEM, Gaia. Disponível em: www.aguasgaia.eu
- Águas e Parque Biológico de Gaia, EEM. (2014). *Relatório & Contas 2013*. Águas e Parque Biológico de Gaia, EEM, Gaia. Disponível em: www.aguasgaia.eu
- Alegre, H., Coelho, S. T., Almeida, M. C., Vieira, P. (2005). *Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), Lisboa.
- Alegre, H., Coelho, S. T., Loureiro, D. (2006). *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Batista, F.P. (2011). *Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142730852/Tese.pdf>
- ERSAR. (2011). *Relatório Anual do Setor de Águas e Resíduos em Portugal (2010), Volume 1 – Caracterização Geral do Setor*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). Disponível em: <http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?SubFolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSítio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao%5cPublicacoesIRAR&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSítio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao&BookTypeID=33&BookCategoryID=1>
- ERSAR. (2012). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2012), Volume 4 – Controlo da qualidade da água para consumo humano*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). Disponível em: <http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?SubFolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSítio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao%5cPublicacoesIRAR&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSítio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao&BookTypeID=33&BookCategoryID=1>
- Farley, M. (2001). *Leakage Management and Control – A Best Practice Training Manual*. World Heath Organisation, Geneva, Suíça.
- Figueiredo, M.P. (2012). *Disciplina de Hidráulica Urbana e Ambiental – Apontamentos*. MIEC, FEUP, Porto.
- Gomes, R.J. (2011). *Modelação Matemática como Ferramenta de Gestão e Exploração de Sistemas de Distribuição de Água*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra, Coimbra. Disponível em: https://eg.sib.uc.pt/bitstream/10316/17988/3/Tese_Ricardo%20Gomes.pdf
- Grilo, T.V. (2007). *Técnicas de reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137452222/Dissertacao.pdf>
- Magalhães, M., Bessa, A. (2012). *Qualidade e Sustentabilidade dos Serviços de Abastecimento de Águas e Saneamento*. Comissão do Ambiente, Ordenamento do Território e Poder Local, Lisboa. Disponível em: <http://www.cienciaviva.pt/img/upload/Relat%C3%B3rio-das-audi%C3%A7%C3%B5es-%C3%81GUA-final.pdf>

Marques, R.C. (2011). *A regulação dos serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais – Uma perspetiva internacional*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), e Centro de Sistemas Urbanos e Regionais (CESUR), Lisboa. Disponível em: <http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?SubFolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSitio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao%5cPublicacoesIRAR&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSitio%5cMenuPrincipal%5cDocumentacao&BookTypeID=33&BookCategoryID=1>

Martins, C.P. (2009). *Balanço Hídrico e Indicadores de Desempenho no Subsistema de Abastecimento de Água de São João de Lobrigos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. Disponível em: https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/266/1/msc_cpfmartins.pdf

Martins, J.P. (2012). *Disciplina de Sistemas de Abastecimento de Água – Apontamentos*. MIEC, FEUP, Porto.

Motta, R.G. (2010). *Importância da Setorização adequada para Combate às Perdas Reais de Água de Abastecimento Público*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica de São Paulo, Brasil. Disponível em: [file:///C:/Users/utilizador/Downloads/Dissertacao_Renato_Goncalves_Motta%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/utilizador/Downloads/Dissertacao_Renato_Goncalves_Motta%20(3).pdf)

PEAASAR II, *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais II*. (2007). Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa. Disponível em: <http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PEAASAR.pdf>

Pedroso, V.M.R. (2007). *Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.

Sousa, E.R. (2001a). *Disciplina de Saneamento Ambiental I – Apontamentos (Aula 5)*. LEC, IST, Lisboa.

Sousa, E.R. (2001b). *Disciplina de Saneamento Ambiental I – Apontamentos (Aula 11)*. LEC, IST, Lisboa.

OUTROS SÍTIOS DA INTERNET CONSULTADOS

<http://www.aguasgaia.eu/pt/home.php> – (acedido em: 1 de Abril de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=1943&zona=1> – (acedido em: 1 de Abril de 2014)

<http://www.ersar.pt/website/> – (acedido em: 5 de Abril de 2014)

<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html> – (acedido em: 7 de Abril de 2014)

ftp://ftp.unilins.edu.br/cursos/Saneamento_Meio_Ambiente_T4/Aula_200310_Prof_AdiltonSchiavon/p_s-unilins%20aula%2020-03-10%20projetos%20de%20redes%20de%20distribuio%20de%20_gua.pdf – (acedido em: 10 de Abril de 2014)

<http://www.saint-gobain-pam.pt/pages/site/> – (acedido em: 14 de Abril de 2014)

<http://www.mankenberglab.de/> – (acedido em: 14 de Abril de 2014)

<http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=VALVULAS&idCatM=PRODUTOS> – (acedido em: 30 de Abril de 2014)

http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=SISTEMAS_TELEGESTAO_AGUA&idCatM=SOLUCOES – (acedido em: 3 de Maio de 2014)

<http://portaldaagua.inag.pt/PT/SectorAgua/Portugal/Pages/ADPNacionaisINAG.aspx> – (acedido em: 7 de Maio de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=1994&zona=1> – (acedido em: 15 de Maio de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=1995&zona=1> – (acedido em: 15 de Maio de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=1999&zona=1> – (acedido em: 15 de Maio de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=2005&zona=1> – (acedido em: 15 de Maio de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=2005&zona=1> – (acedido em: 15 de Maio de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=2007&zona=1> – (acedido em: 15 de Maio de 2014)

<http://snirh.pt/index.php?idMain=5&idItem=3&pesquisa=&tipo=-1&ano=2009&zona=1> – (acedido em: 15 de Maio de 2014)

http://www.gaiurb.pt/revpdm/rel/3/3_1.pdf – (acedido em: 20 de Maio de 2014)